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

№ 3 (28) - 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

https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-992

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

Информационно-коммуникационные и химические технологии

1 Информационно-коммуникационные технологии **1**

G.A. Amirkhanova, B.S. Amirkhanov, A. Aidynuly, A.A. Raeva, A.B. Amirkhanov
OPENTEAMS: AN INTEGRATED OPEN-SOURCE COLLABORATION FRAMEWORK FOR DIGITAL TWIN DEVELOPMENT AND MANAGEMENT 1

K.Sh. Mazhitova, A.O. Tleubayeva, S.E. Mukhammediya, A.A. Tanirbergenova A.S. Toktaganova, Zh.B. Kambarova
COMPARATIVE ANALYSIS OF EMBEDDING MODELS FOR MATCHING QUESTIONS AND CONTEXTS IN THE KAZAKH LANGUAGE 13

М.М. Жакина, Ж. Сайлауқызы, Б. Рысбекқызы, Э.У. Эгамбердиев, А.Н. Аманов
АҚПАРАТТЫҢ ШУЛЫ ОРТАДА СЕНІМДІ ТАСЫМАЛДАУЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН LDPC-ДЕКОДЕРЛЕРІНІҢ ӨНІМДІЛІГІН ТАЛДАУ 23

Т.Ж. Мазаков, Ш.А. Джомартова, А.Т. Мазакова, А.Д. Майлыбаева, Б.М. Мазакова, М.С. Алиаскар, Е.К. Мергенгали
МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ВОДОЕМАХ КАЗАХСТАНА 35

М. Мусайф, А.Ж. Кинтонова, А.Е. Назырова, Б. Разахова, С.А. Алтынбек
ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКЕ ГЛАЗА 47

В.А. Мадин, Д.Н. Комаров, О.С.Салыкова, Б.Р. Салыков, М.Ю. Зарубин, Т.Ж. Кобжасаров
ПРЕДИКТИВНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ШПИНДЕЛЬНЫХ ПОДШИПНИКОВ НА ОСНОВЕ ВИБРОДИАГНОСТИКИ (НА ПРИМЕРЕ ТОКАРНОГО СТАНКА СКЕ 6136/6150) 63

М.К. Алимарданова, Н.Б. Жұмахан, М.С. Серікқызы, Ш.А. Абжанова
ҰЛТТЫҚ ЕТ ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН САНДЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАР МЕН ДАТЧИКТЕРДІ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ТАҢДАУ 80

A.A. Kulzhanova, Sh.A. Jomartova, V.A. Zhmud, T.Zh. Mazakov
LIGHTWEIGHT CRYPTO SYSTEM BASED ON DFA AND LORENZ CHAOS FOR SECURE DATA TRANSFER IN IOT ON MICROCONTROLLERS 92

К.Т. Алғазы, Қ.С. Сақан, Н.А. Капалова, Е.Ж. Алимжан
VERKLE АҒАШЫНА ВЕКТОРЛЫҚ МІНДЕТТЕМЕЛЕРДІ ҚҰРУДЫҢ ЖАҢА ЖОЛЫ 104

A.E. Abdualiyev, G.K. Sembina
ADAPTIVE ALLOCATION OF REGIONAL BUDGET USING DYNAMIC PROGRAMMING AND GENETIC ALGORITHM 117

A.V. Shaporeva, A.M. Aitymova, O.L. Kopnova, A.V. Petrova, K.E. Iklassova, A. Karymsakova, L.N. Abdullah, G.M. Abildinova
INTELLIGENT WRITING ANALYSIS SYSTEM BASED ON TOUCH TRAJECTORIES AND SPLINE FILTERING 131

Б.А. Бельгибаев, Д.С. Жамангарин, Е.Қ. Майлыбаев, А.Д. Тулегулов
КӨЛІК ҚҰРАЛДАРЫН ОРНАЛАСТЫРУ ҮШІН ЛОГИКАЛЫҚ МАГНИТТІК ДАТЧИКТЕРДІ ПАЙДАЛАНУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ 145

Б. Рысбекқызы, Ә.Ж. Изат, А. Рыспек
ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫЕ И НЕВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫЕ ТОКЕНЫ СО СНИМКАМИ В JAVA 156

A.D. Tulegulov, N.S. Smakova, K.M. Akishev, Zh.H. Zhantlesov, B.A. Serimbetov, A.D. Musabaev, A. Sterenhartz
SOFTWARE DEVELOPMENT FOR SLM-3D PRINTER PROTOTYPE CONTROL SYSTEM USING KLIPPER FIRMWARE PROGRAM 166

2 Химическая технология **177**

N.V. Seraya, V.V. Litvinov, G.K. Daumova, M.A. Yelubay, E.A. Kulmagambetova, M. Woszczyk
DETERMINATION OF THE TOXICITY OF AQUEOUS EXTRACT FROM WASTE PROCESSING OF PHOSPHATE RAW MATERIALS USING BIOTESTING ON HYDROBIONTS 177

K.G. Satenov, Ye.M. Suleimen
PROCESS SIMULATION AND EVALUATION OF METHANOL RECOVERY UNIT USING ASPEN HYSYS 188

M.K. Kazankapova, B.T. Yermagambet, Zh.M. Kassenova, B.A. Kapsalyamov, A.B. Malgazhdarova, Zh.T. Dauletzhanova, U.M. Kozhamuratova, G. K. Mendaliyev, A.S. Akshekina
HYDROGEN STORAGE IN POROUS CARBON MATERIALS OBTAINED BASED ON SHUBARKOL COAL 199

С.Д. Фазылов, А.Ж. Сарсенбекова, Р.Е. Бакирова, Т.С. Жумагалиева, А.К. Сыздыков, Л.М. Власова, М.Т. Нурмаганбетова, Б.Ж. Аширбекова
ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ И ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОЛИГОСАХАРИДНЫХ КЛАТРАТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЦИТИЗИНА 219

M.K. Kazankapova, B.T. Yermagambet, Zh.M. Kassenova, A.S. Akshekina, G.K. Mendaliyev, A.B. Malgazhdarova, Zh.T. Dauletzhanova, U.M. Kozhamuratova
INVESTIGATION OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF CARBON NANOMATERIAL OBTAINED BY THE ELECTRIC ARC METHOD BASED ON ACTIVATED TALDYKOL COAL . 233

Н. Мерхатұлы, А.Н. Искандеров, С.К. Жокижанова, А.Н. Искандеров, Х.Б. Омаров, П. Войтишек
АЗОТТАН ТҰРАТЫН ҚОСАРЛАНҒАН АЗУЛЕН ҚОСЫЛЫСТАРЫНЫҢ ФОТОФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ 244

А. Колпек, Э.Е. Копишев, Г.Ж. Сейтенов, А.К. Турсынова, Л.Б. Толымбекова
БЕРІКТІЛІГІ ЖОҒАРЫ ЖӘНЕ БИОЫДЫРАЙТЫН КОМПОЗИТТЕР: ҚАПТАМАДА ЖӘНЕ ІРГЕЛЕС САЛАЛАРДА ҚОЛДАНУ БОЛАШАҒЫ (Аналитикалық шолу) 254

К.Г. Сатенов, Е.М. Сүлеймен
АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ГПЗ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ Х 274

Е.А. Цешковская, Н.К. Цой, А.Т. Оралова, Д.А. Коробов
АНАЛИЗ, РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ КОРМОВ КУР 289

Н.У.Нургалиев, Е.К. Айбульдинов, Ж.Б. Искаков, А. Колпек, Ж.Г Берденов, А.С. Сабитов, Э.Е. Копишев, Т.Т. Машан, Л.А. Кусепова, Г.Г. Абдиюсупов
ТӨМЕН СҰРЫПТЫ КӨМІРДІҢ ТҰТҚЫРЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ МҰНАЙМЕН БІРІККЕН ПИРОЛИЗІНІҢ СИНЕРГИЯСЫ 303

С. Сатаева, Ф. Ахметова, Д. Назарова, Э. Жунусова, А. Кажимова, Т. Өтепова, А. Пшенбаев
КЕРАМИКАЛЫҚ БҰЙЫМДАРДЫ ГЛАЗУРЬЛЕУ ҮДЕРІСІНДЕ ЖЕРГІЛІКТІ ТАБИҒИ ШИКІЗАТТЫ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІКТЕРІН ЗЕРТТЕУ 316

Г.М. Нұрғазина, Д.А. Нургалиева, С.Ж. Құдайбергенова
НАНОХИМИЯ ЖӘНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ СИМБИОЗЫ 324

А.Б. Ниязбекова, Л.И. Байтлесова, М.Ж. Алмагамбетова, Г.М. Губайдуллина, Э.Б. Жунусова, Ш.Ж. Усенкулова
КАОЛИН НЕГІЗІНДЕГІ ЭНЕРГИЯНЫ ҮНЕМДЕЙТІН СИЛИКАТ КІРПІШІНІҢ ҚҰРАМЫН, ҚАСИЕТТЕРІН ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ 336
Н.У. Нургалиев, Е.К. Айбульдинов, Ж.Б. Искакова, А. Колпек, А.С. Сабитов, Л.А. Кусепова
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕЙ И ИХ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПИРОЛИЗА 348
Ye. Kabiyev, R. Berndtsson, K. Tussupova
THE HYDROCHEMICAL REGIME AND CURRENT WATER QUALITY OF THE URAL RIVER: IN THE CONTEXT OF RURAL DRINKING WATER SUPPLY 358

Производственные и обрабатывающие отрасли

3 Пищевая технология **367**
Г.С Кененбай, У.Ч. Чоманов, М.А. Идаятова
ҚОЙДЫҢ ҚАРЫНЫНДАҒЫ МАССАНЫҢ (КАНЫГА) КЕПТІРУДЕН КЕЙІНГІ ФИЗИКО-ХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЗЕРТТЕУ 367
А.А. Абдулдаева, С.К. Тарджибаева, Г.Н. Досжанова, Н.А. Муханбетова, О.М. Кожамкулов
ОБЗОР О ПОЛЕЗНЫХ СВОЙСТВАХ МОРКОВИ (Аналитический обзор) 376
Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, М.А. Якияева, Р.Б. Мухтарханова, Н.Б. Батырбаева, А.Е. Әбітбек
КРУПООБРАЗОВАНИЕ И РЕЖИМЫ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПРИ СОРТОВОМ ПОМОЛЕ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕЛЕКЦИИ 391
У.Ч. Чоманов, Г.С. Кененбай, Қ.М. Сейітпан, А.С. Әбілда, Ж.Б. Крамсакова
АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БАРАНИНЫ 405
Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, А.Т. Киябаева, М.А. Якияева, Ж.К. Нургожина
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ МУКИ ИЗ ЗЕРНА СОРТОВ ТРИТИКАЛЕ, ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ В КАЗАХСТАНЕ 415
А.К. Изембаева, Э.Б.Аскарбеков, З.Н. Молдақұлова, Қ.С. Қойланов Т.Б. Ахлан, М. Байғайыпқызы
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭКСТРУЗИОННЫХ ЗЕРНОВЫХ ЧИПСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ ДИКОРАСТУЩИХ РАСТЕНИЙ 429
Д.Қ. Алибаева, А.Ж. Иманбаев, Hulya Gul, Г.Е. Есиркеп, Ж. Нармандах
АСҚАБАҚ КОМПОНЕНТТЕРІ ҚОСЫЛҒАН ТҰТАС ДӘНДІ ҚЫТЫРЛАҚ НАННЫҢ РЕЦЕПТУРАСЫ МЕН САПА КӨРСЕТКІШТЕРІ 440
А.М. Таева, Т.К. Кулажанов, Ф.Т. Диханбаева, Р.Б. Мухтарханова, Ж.К. Имангалиева
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАКВАСОК ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ МОЛОКА С НИЗКИМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФОРТИФИЦИРОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ 453
М.Ч. Тултабаев, М.К. Оспанова
ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАПИТКОВ 462
Г.Е. Жумалиева, У.Ч.Чоманов, А.Б. Байзақова, Ә.К. Шоман
БАҚША ЖӘНЕ КӨКӨНІС ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫНАН ЛИКОПИНДІ БӨЛІП АЛУДЫҢ ТИІМДІ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ РЕЖИМДЕРІН ЗЕРТТЕУ 470

А.Ж. Исмагулова, Б.К. Тарабаев, Д.А. Шаймерденова, А.А. Махамбетова, О.И. Ким
2024 ЖЫЛЫ ҚАЗАҚСТАНДА ЖИНАЛҒАН КЛАССЫЗ БИДАЙДЫ ТИІМДІ ПАЙДАЛАНУ ЖОЛДАРЫ 480

А.Е. Отуншиева, С.А. Бөлегенова, С.С. Ветохин, А.Н. Никитенко, А.А. Ешанкулов
ЕАЭО ЕЛДЕРІНІҢ АУМАҒЫНДА ӨНДІРІЛЕТІН ШИКІЗАТ НЕГІЗІНДЕ ӨСІМДІК МАЙЛАРЫНЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ҚОСПАЛАРЫН ӘЗІРЛЕУ 496

Ш. Серикова, А.Ж. Хастаева, А.М. Омаралиева, А.А. Бектурганова, М.Т. Агедилова, Ж.Т. Ботбаева, А.М. Рахимжанова
ЖЕМІС-ЖИДЕК ДАҚЫЛДАРЫНАН АЛЫНҒАН ҚҰРҒАҚ ҰНТАҚТАРДЫҢ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЗЕРТТЕУ 506

А.Д. Мыржыкбаева, Ш. Серикова, А.Ж. Хастаева, В.С. Жамурова, А.А. Бектурганова, Г.Т. Юсупова
АЗЫҚ-ТҮЛІК ҚАУІПСІЗДІГІ ТАЛАПТАРЫ ШЕҢБЕРІНДЕГІ СҰЛЫ МЕН СҰЛЫ СУСЫНДАРЫНЫҢ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ САПА КӨРСЕТКІШТЕРІ 518

Ж.Т. Ботбаева, А.М. Омаралиева, О.И. Парахина, Г.Е. Есиркеп, М.Т. Агедилова, Ф.Т. Диханбаева, Ж. Нармандах
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ СУХИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КАЗАХСТАНСКОГО СЫРЬЯ 527

А.И. Изтаев, М.А. Якияева, Б.А. Изтаев, Ш.А. Турсунбаева, Р.Б. Мухтарханова, М.Н. Мамыраев, М.Н. Рахымбаева
ТҮРЛІ ДИСПЕРСИЯЛЫ «ҚОЖА ЭЛИТА» ТРИТИКАЛЕ СОРТЫНЫҢ БЕТІНІҢ МОРФОЛОГИЯСЫН ЗЕРТТЕУ 539

4 Горное и нефтегазовое дело **551**

Ж.Н Алишева, М.А Сарсенбаев, Ж.А.Сарсенбаев
ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ НЕФТЯНЫХ ТРУБ ОТ ПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ 551

М.У. Калменов, М.Г. Абдуллаев, С.Е. Байботаева, А.С. Садырбаева
ТҰТҚЫРЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ МҰНАЙДЫ ӨНДІРУДЕ ҰҢҒЫМАНЫҢ ТҮП АЙМАҒЫН ӨҢДЕУ ӘДІСТЕРІ 563

Ж.К. Надирова, В.П. Бондаренко, К.С. Надиров, А.Е. Верисокин, М.К. Жантасов
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ БУРЕНИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН 573

Д.Т. Бегалиев, Н.М. Жумагалиева, Р.И. Джусупкалиева, Р.У. Баямирова, А.Б. Кыдрашов, Ж.Т. Ержанова, Ш.Х. Султанов
АМИНҚЫШҚЫЛДАРЫН ГАЗ ГИДРАТТАРЫНЫҢ КЕН ОРЫНДАРЫ ҮШІН ИНГИБИТОРЛАР РЕТІНДЕ ЗЕРТТЕУ 581

D.A. Galiyev, S.S. Abilkhanov, A.T. Tekenova, A.V. Maldynova
DIGITAL TRANSFORMATION OF INDUSTRIAL SAFETY SYSTEMS BASED ON PERSONALIZED INTELLIGENT SOLUTIONS IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE PRODUCTION SECTOR OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN 590

V.O. Kim, V.V. Cheskidov, A.D. Maussymbayeva, R.K. Madisheva, F.M. Issatayeva, N.S. Askarova, S.B. Imanbaeva
STRATIGRAPHIC AND STRUCTURAL FEATURES OF IRON ORE DEPOSITS OF THE SILICO-CARBONATE FORMATION OF CENTRAL KAZAKHSTAN 599

D.S. Saduakassov, A.G. Gusmanova, A.T. Zholbasarova, R.U. Bayamirova, A.R. Togasheva, M.T. Tabylganov, M.D. Sarbopeeva
PROBLEMS OF SAND MANIFESTATION IN THE FIELDS OF KAZAKHSTAN: METHODS AND SOLUTIONS 613
K. Massenov, B. Abenov, L. Akbayeva, Y. Pangaliyev, N. Mamytova
IMPACT OF «ALUMINUM PRODUCTION» ON THE ENVIRONMENT AND WAYS TO SOLVE IT 628
А.Б. Бекмагамбетов, А.М. Рахметова, Ж.Т. Нуртай, Э.А. Кульмагамбетова, Н.Б. Абдрахманова, Н.Т. Сагиндикова, Р. Марчеллони
ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ ТРУДА И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ 640
Б. Рысбекқызы, Ж.Б. Кадирова, Л.Б. Қадырова
ГАЗСЫЗДАНДЫРУ ҰҢҒЫМАЛАРЫНЫҢ СТАТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫНЫҢ КОЭФФИЦИЕНТТЕРІН АНЫҚТАУ 651
А.Р. Бегимова, Ж.К. Надирова, А.А. Сулейманов, М.К. Жантасов, Ж.У. Икласова
ПОЛУЧЕНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИЦИОННОЙ ДЕПРЕССОРНОЙ ПРИСАДКИ 659
М.А. Сарыбаев, Р.К.Жанакова, Т.М.Алменов
ПАРАЛЛЕЛЬ ОРНАЛАСҚАН ҰҢҒЫМА БОЙЫМЕН ТОРОИДАЛЬДЫ ГИДРОЖАРҒЫШТЫҢ КҮШІМЕН БІРТЕКТІ ТАСТАН ПЛИТАЛАРДЫ АЖЫРАТУДЫ ЗЕРТЕУ 667
Р.К. Адилханов, Р.К. Мадишева, Г.М. Жексенбаева, Б.В. Успенский, Ж.Т. Токушева, С.Б. Иманбаева, С.Т. Абдрахманова, А.М. Оспанов
СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ МЕТОДОМ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ 674

Экономика, бизнес и услуги

5 Экономика, бизнес и услуги **685**
Ж.Б. Рахметулина, А.С. Бухатова, Г.Т. Дюсупова, А.А. Рахметулина
ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКА ЖАҒДАЙЫНДА АДАМИ КАПИТАЛДЫ БАҒАЛАУ 685
А. Азимхан, Г.Н. Доғалова, Н.М. Шеримова, Г.К. Кенжетаева, Р.А. Есберген
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК БАСҚАРУЫНДАҒЫ ГЕНДЕРЛІК ТЕҢДІКТІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫН ТАЛДАУ 700
Н.А. Курманов, Н.А. Ибадильдин, Г. Каирлиева, Ғ.Ә. Кенешева, Н.А. Алдабергенов, Вэй Фэн
ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІНІҢ ӘСЕРІНЕН ЖҰМЫСПЕН ҚАМТУ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН КӘСІБИ ДАҒДЫЛАРҒА ДЕГЕН СҰРАНЫС ӨЗГЕРІСІ 709
Ш.А. Смагулова, Б.А. Омарова, Г.А. Омарова, А.А. Онласинова, К.О. Шаяхметова
БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ 723
К.А. Омарова, К.Б. Тукибаева, А.Н. Тәжен, Г.А. Болсынбекова, О.В. Подсухина
ТҮРКІСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ КУРОРТТЫҚ АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ ТУРИСТІК ҚЫЗМЕТТЕР НАРЫҒЫНА ТАЛДАУ 743
Н.Д. Есмагулова, Р.А. Исмаилова, Н.А. Ибадильдин, А.М. Акижанова, А.Б. Темирова, А.Б. Асанова
КРЕАТИВТІ ИНДУСТРИЯ САЛАСЫНДА КӘСІПКЕРЛІК ҚЫЗМЕТТІ МЕМЛЕКЕТТІК РЕТТЕУГЕ ТАЛДАУ 755

Д.С. Кауметова, Н.С. Сулейменов
АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ СЦЕНАРНО-ПРОГНОЗНЫХ ПОДХОДОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫПУСКА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В КАЗАХСТАНЕ 766
А. Серікқызы, Ә.С. Бақтымбет, С.С. Бақтымбет, Д.Ж. Медетов, А.Б. Ахметова
ОБЗОР ПРОМЫШЛЕННЫХ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТЫХ СТРАН: ОТ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ К ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ 780

IRSTI 20.53.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-919**

OPENTEAMS: AN INTEGRATED OPEN-SOURCE COLLABORATION FRAMEWORK FOR DIGITAL TWIN DEVELOPMENT AND MANAGEMENT

G.A. Amirkhanova, B.S. Amirkhanov, A. Aidynuly, A.A. Raeva, A.B. Amirkhanov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Corresponding author: Gulshat.aa@gmail.com

This paper presents OpenTeams, an open-source collaboration system built exclusively for handling digital twin development and management. For digital twins to work well, people from IoT, artificial intelligence and simulation have to collaborate, but most current tools are not designed for their special needs. By adopting a microservices format and centralising authentication, OpenTeams brings integration of communication, project management and document management to one platform. Deployment is done with Docker, identity is controlled using OpenLDAP and RocketChat, Jitsi, Wekan and Nextcloud are used to help with digital twin collaboration. Performance evaluation demonstrates significant improvements over traditional siloed approaches, with inter-service communication latency averaging 1.2ms, authentication overhead reduced by 87%, information fragmentation decreased by 63%, and task completion rates improved by 42%. Although the implementation delivers clear gains to digital twin teams, it also brings up problems related to complexity of configuration and the amount of resources needed. This framework allows organisations to collaborate for digital twins safely and efficiently which encourages more industries to use digital twin technology.

Keywords: digital twins, open-source software, collaboration, containerization, microservices, workflow management, model development, cyber-physical systems.

OPENTEAMS: ИНТЕГРИРОВАННАЯ OPEN-SOURCE ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОВМЕСТНОЙ РАЗРАБОТКИ И УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫМИ ДВОЙНИКАМИ

Г.А. Амирханова, Б.С. Амирханов, А. Айдынулы, А.А. Раева, А.Б. Амирханов

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
e-mail: Gulshat.aa@gmail.com

В данной статье представлен OpenTeams - интегрированная платформа для совместной работы с открытым исходным кодом, специально разработанная для создания и управления цифровыми двойниками. Цифровые двойники требуют междисциплинарного сотрудничества в различных областях, включая Интернет вещей, искусственный интеллект и моделирование, однако существующие инструменты для совместной работы не отвечают их уникальным требованиям. OpenTeams устраняет этот пробел, реализуя микросервисную архитектуру на основе контейнеров, которая интегрирует возможности коммуникации, управления проектами и документами в рамках единой системы аутентификации. Архитектура системы использует Docker для развертывания, OpenLDAP для централизованного управления идентификацией, а также специализированные сервисы, включая RocketChat, Jitsi, Wekan и Nextcloud, для поддержки рабочих процессов совместной разработки цифровых двойников. Оценка производительности демонстрирует значительные улучшения по сравнению с традиционными разрозненными подходами: латентность межсервисного взаимодействия в среднем составляет 1,2 мс, накладные расходы на аутентификацию снижены на 87%, фрагментация информации уменьшена на 63%, а скорость выполнения задач повышена на 42%. Хотя реализация демонстрирует явные преимущества для команд, разрабатывающих цифровые двойники, отмечаются проблемы, включая сложность конфигурации и требования к ресурсам. Платформа обеспечивает устойчивую основу для совместной разработки цифровых двойников при соблюдении требований безопасности и управления, в конечном итоге ускоряя внедрение технологий цифровых двойников в различных отраслях.

Ключевые слова: цифровые двойники, программное обеспечение с открытым исходным кодом, совместная работа, контейнеризация, микросервисы, управление рабочими процессами, разработка моделей, киберфизические системы.

OPENTEAMS: ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕРДІ ӘЗІРЛЕУ МЕН БАСҚАРУҒА АРНАЛҒАН OPEN-SOURCE БІРІКТІРІЛГЕН ЫНТЫМАҚТАСТЫҚ ПЛАТФОРМАСЫ

Г.А. Амирханова✉, Б.С. Амирханов, А. Айдынұлы, А.А. Раева, А.Б. Амирханов

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: Gulshat.aa@gmail.com

Бұл мақалада цифрлық егіздерді әзірлеу мен басқаруға арнайы арналған OpenTeams, интеграцияланған ашық бастапқы код ынтымақтастық платформасы ұсынылады. Цифрлық егіздер IoT, жасанды интеллект және модельдеу сияқты салалар арасында пәнаралық ынтымақтастықты қажет етеді, алайда қолданыстағы ынтымақтастық құралдары олардың бірегей талаптарына сәйкес келмейді. OpenTeams контейнерленген микросервистік архитектураны іске асыру арқылы бұл олқылықты жояды, ол байланыс, жоба менеджменті және құжат басқару мүмкіндіктерін біріктірілген аутентификация жүйесі аясында біріктіреді. Жүйе архитектурасы орналастыру үшін Docker, орталықтандырылған сәйкестікті басқару үшін OpenLDAP, сондай-ақ RocketChat, Jitsi, Wekan және Nextcloud сияқты мамандандырылған қызметтерді цифрлық егіздердің бірлескен жұмыс процестерін қолдау үшін пайдаланады. Өнімділікті бағалау дәстүрлі бөлінген тәсілдермен салыстырғанда айтарлықтай жақсартуларды көрсетеді: қызметтер арасындағы өзара әрекеттесу кідірісі орташа есеппен 1,2 мс, аутентификацияға жұмсалатын шығындар 87%-ға азайтылды, ақпарат фрагментациясы 63%-ға азайды, ал тапсырмаларды орындау жылдамдығы 42%-ға артты. Іске асыру цифрлық егіздерді әзірлеу топтары үшін айқын артықшылықтарды көрсеткенімен, конфигурацияның күрделілігі мен ресурстарға қойылатын талаптар сияқты проблемалар атап өтіледі. Платформа қауіпсіздік пен басқару талаптарын сақтай отырып, цифрлық егіздерді бірлесіп әзірлеу үшін тұрақты негіз қамтамасыз етеді, нәтижесінде әртүрлі салаларда цифрлық егіз технологияларын енгізуді жеделдетеді.

Түйінді сөздер: цифрлық егіздер, ашық бастапқы кодты бағдарламалық жасақтама, ынтымақтастық, контейнеризация, микросервистер, жұмыс процестерін басқару, модельдерді әзірлеу, киберфизикалық жүйелер.

Introduction. Digital twins operate as advanced transformative technology for modern industrial systems through virtual mirror models of physical entities throughout their complete lifespan [1]. Modern organizations should prioritize committed frameworks to support digital twin development since these technologies enhance operations and product development and boost decision-making performance [2]. Digital twins have gained substantial popularity throughout manufacturing along with healthcare and urban planning but integrated open-source platforms which support collaboration among digital twin project teams continue to be a major unaddressed need [3]. Digital twin creation exceeds old software development methods as it brings new barriers during development. Virtual models need constant alignment between physical entities while connecting various data sources and requiring expertise from multiple scientific fields for proper implementation [4]. Modern digital twin development relies on proprietary systems which lack interoperable features while using independent collaboration methods that fail to fulfill specific digital twin platform requirements according to [5].

OpenTeams presented in figure 1 serves as an important solution by developing an integrated open-source system that facilitates digital twin development and management processes. OpenTeams facilitates effective collaboration through version control and workflow management

with authentication tools together with knowledge sharing features which enhance team efficiency for complex digital twin implementations according to [6, 7]. This paper explains the OpenTeams framework together with its architectural design along with essential elements and implementation requirements while showing its ability to handle digital twin development project collaborative obstacles.

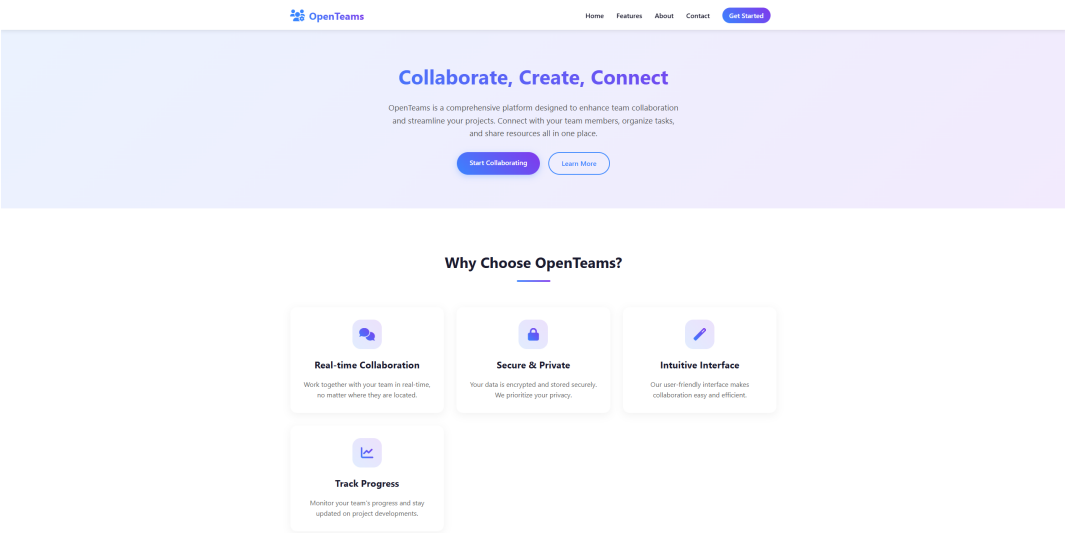


Fig.1 - OpenTeams webpage

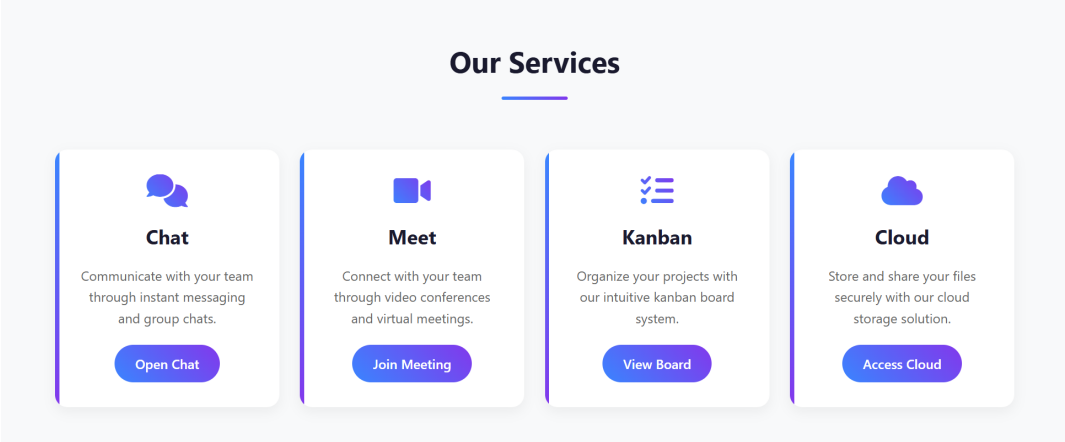


Fig.2 - OpenTeams services

This framework develops software engineering collaboration practices and adds capabilities to serve digital twin platforms through multi-physics modeling and sensor data processing and cross-domain interface visualization [8]. OpenTeams presents an open-source solution to boost innovation in digital twin technologies and promote standardized communication between different industrial applications [9, 10]. Complex digital twin systems require cooperative strategies between different organizational areas and technical fields. Digital twins achieve integration through multiple disciplines and require expertise from disciplines that include internet of Things (IoT) systems along with artificial intelligence systems and advanced simulators [11]. The level of

integration required for digital twin systems exceeds what traditional collaboration tools can handle especially regarding the management of technical debt that grows during the digital twin lifecycle [12].

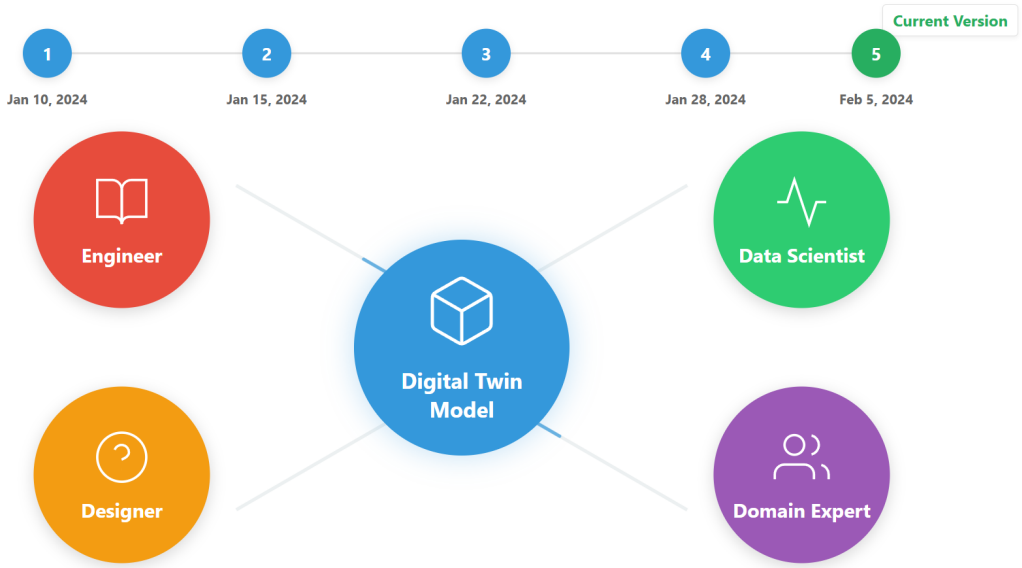


Fig.3 - Collaborative digital twin modelling in OpenTeams

In figure 3 demonstrated digital twin modelling in OpenTeams. Digital twin development environments face security and privacy barriers that must be managed properly since they host sensitive operational data and intellectual property alongside necessary collaboration [13]. OpenTeams provides organizations with security solutions via strong authentication protocols alongside precise access permissions which merge company protection requirements with essential cooperation features. Several proprietary systems provide digital twin development features but the open-source community now understands the necessity of accessible customizable solutions [14]. Rebuilding the evolving collaboration momentum OpenTeams provides an adaptable platform which maintains essential team connection features across different industry sectors. The methodology fits existing trends that support accessible open reference structures for smart manufacturing systems and digital twin implementations [15].

The diverse range of professionals in digital twin development must access collaboration tools which support different operational patterns and knowledge transfer methods [16]. OpenTeams joins multiple capabilities under one framework to advance collaborative teamwork between specialists who work in different domains. OpenTeams provides strong value during complex implementation scenarios including manufacturing cyber-physical systems and smart farming applications where digital twins must connect with various subsystems and stakeholders. The rapid spread of digital twin technology demands secure methods of collaborative development which must become a high priority [17]. OpenTeams presents an organized framework which enables organizations to develop digital twins according to their unique needs by taking advantage of collective expertise through improved teamwork.

Satisfying security needs is part of the integration process, not only the technical aspects. Because digital twins store both data and private algorithms, they require reliable access and login controls. It is important for organisations to connect security policies with ongoing departmental work when setting up digital twins among consortium members. Since open-source communities realised

that collaboration tools were lacking in digital twin development, separate projects aimed to fix distinct problems within the issue. Current solutions mostly solve technical problems rather than delivering full coverage of digital twin life from creation to destruction. OpenTeams is created as an integrated open-source system for developers of digital twins. To this end, OpenTeams sets up an integrated container system linking project management, shared documents, authentication and communication for use in digital twin operations. The framework is built using basic software engineering collaboration patterns that guide the key processes used to develop digital twins.

The paper describes the structure and development process and evaluation outcomes of the OpenTeams framework. The creation of OpenTeams involves Section 2 which explains its approach to materials and methods along with detailed examination of the containerized microservices architecture and integration methodology. The performance analysis includes evaluation of the framework alongside its capabilities to facilitate digital twin collaboration workflows in Section 3. Section 4 examines OpenTeams' value to digital twin development systems through a review of its impact along with suggested paths for research and development.

Materials and methods. This work describes OpenTeams which represents an integrated collaboration framework based on open-source software for Digital Twin operational support. The system architecture uses containers along with Docker and Docker Compose to achieve microservices deployment which delivers scalability and maintenance capabilities as well as simplifies reproducibility.

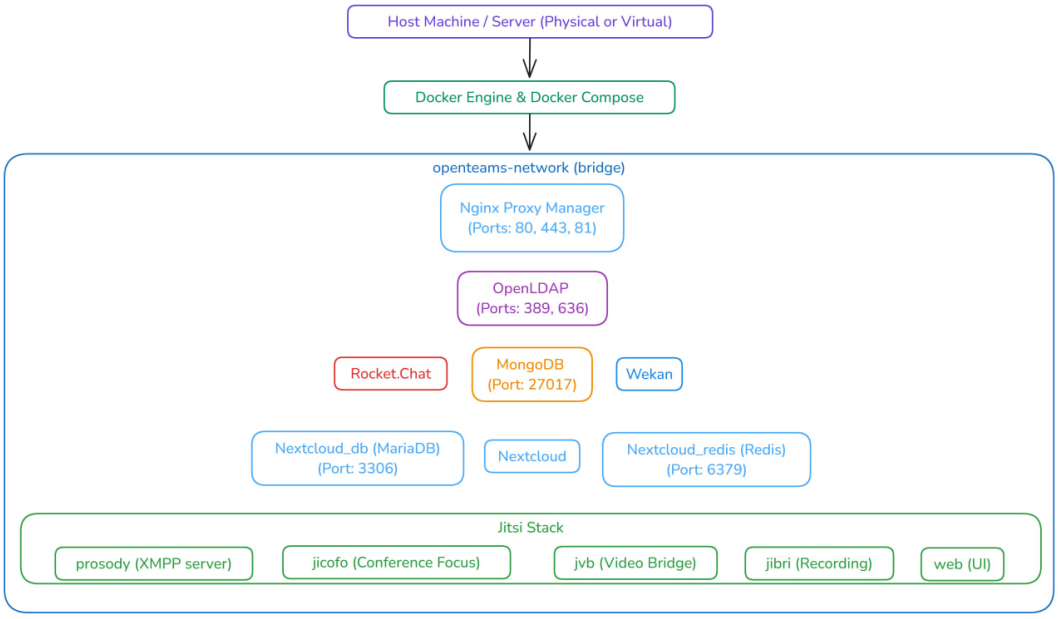


Fig.4 - OpenTeams architecture

Main Parts of the Infrastructure. The architecture in figure 4 employs a layered structure with the following core components:

1. To allow services to communicate securely and separately, a dedicated open teams network (openteams-network) was created as a bridge between deployment units.

2. OpenLDAP (version 1.3.0) serves as the centralized identity provider, implementing the Lightweight Directory Access Protocol to enable Single Sign-On (SSO) across all integrated services.

3. Through Nginx Proxy Manager, Gateway Layer allows one central access point for SSL termination, handling of domain routing and

implementing security for each service.

4. Many ways to store data were configured in the Data Persistence Layer:

MongoDB (version 6.0) configured as a replica set for document storage;

MariaDB (version 10.6) for relational data management;

Redis (version 6.2) for caching and improving system performance;

Using volume mounts for data that needs to persist.

Table 1 - Service Components

Component	Version	Purpose	Digital Twin Support Function
OpenLDAP	1.3.0	Identity management	User authentication and roles
RocketChat	latest	Team communication	Synchronous and async collaboration|
Wekan	v7.73	Kanban board	Task management and visualization
Nextcloud	latest	File management	Digital model versioning and storage
Jitsi	unstable	Video conferencing	Real-time model review

Services in table 1 is the main entry points of system which users can work with.

Serving Together in an Organisation. Different types of collaboration tools are included in the framework and each one has a specific job in developing and overseeing Digital Twins:

1. Communication Services:

Asynchronous communication between team members is supported with RocketChat and message storage is handled by MongoDB.

Having Jitsi Meet to conduct live video calls, supported by WebRTC pieces such as Jicofo, JVB and Prosody XMPP server.

2. Project Management:

Wekan (version 7.73) for kanban-style task visualization and management.

Focalboard is used for organizing work and data on projects.

3. Manage both documents and assets:

Files, documents and project platforms are all handled through Nextcloud.

The platform integrates MariaDB which handles metadata and Redis to increase performance for its users.

Integration Methodology. The various systems were merged by making use of several approaches.

1. Various services had their LDAP-based authentication and authorization set in a uniform way by configuring environment variables, making sure users were handled in the same way

2. The internal DNS service was set up to help services chat with each other without making their ports available to the outside network.

3. Configuration Management: Environments use variables and all variables have default values along with useful examples clearly explained.

4. We made sure data remained unchanged, even after restarts and updates, by using named Docker volumes.

Deployment Methodology. Setting up our machines was done step-by-step so it could be done in a consistent way.

1. Copying a repository and setting up the environment.

2. Make is used to create the directories when you build the app.

3. Secure credential generation using the script in figure 5.

4. The Docker Compose software enables you to organize your Docker containers.

5. Service configuration through Nginx Proxy Manager’ s web interface

```bash
#!/usr/bin/env bash

function generatePassword() {
    openssl rand -hex 16
}

JICOFO_AUTH_PASSWORD=$(generatePassword)
JVB_AUTH_PASSWORD=$(generatePassword)
JIGASI_XMPP_PASSWORD=$(generatePassword)
JIBRI_RECORDER_PASSWORD=$(generatePassword)
JIBRI_XMPP_PASSWORD=$(generatePassword)
JIGASI_TRANSCRIBER_PASSWORD=$(generatePassword)

sed -i.bak \
    -e "s#JICOFO_AUTH_PASSWORD=.*#JICOFO_AUTH_PASSWORD=${JICOFO_AUTH_PASSWORD}#g" \
    -e "s#JVB_AUTH_PASSWORD=.*#JVB_AUTH_PASSWORD=${JVB_AUTH_PASSWORD}#g" \
    -e "s#JIGASI_XMPP_PASSWORD=.*#JIGASI_XMPP_PASSWORD=${JIGASI_XMPP_PASSWORD}#g" \
    -e "s#JIBRI_RECORDER_PASSWORD=.*#JIBRI_RECORDER_PASSWORD=${JIBRI_RECORDER_PASSWORD}#g" \
    -e "s#JIBRI_XMPP_PASSWORD=.*#JIBRI_XMPP_PASSWORD=${JIBRI_XMPP_PASSWORD}#g" \
    -e "s#JIGASI_TRANSCRIBER_PASSWORD=.*#JIGASI_TRANSCRIBER_PASSWORD=${JIGASI_TRANSCRIBER_PASSWORD}#g" \
    "$(dirname "$0")/.env"
```

Fig.5 - Secure credential generation script

How Digital Twins Can Be Integrated. Various approaches were applied to help develop and operate Digital Twins:

1. Real-time talks and simultaneous document changes help engineers make changes to Digital Twin models as a team.

2. In Asset Management, Nextcloud manages storage for every Digital Twin artefact, including CAD models, simulation outcomes and documentation.

3. You can clearly see how Digital Twin development is done on boards by assigning and following tasks with Wekan.

4. Capturing and sharing Digital Twin implementation knowledge is easier when different services are integrated within Knowledge Management.

Evaluation Methods. We analysed the system based on the following metrics:

1. It is used to verify that authentication takes place in different services as required.

2. Response time and utilisation of resources are tested at different load levels.

3. Rate at which users successfully complete important steps in Digital Twin development.

4. Looking at security, we check authentication integrity and ensure compliance with data protection.

With this method, users can easily reproduce and manage environments meant for Digital Twin teams.

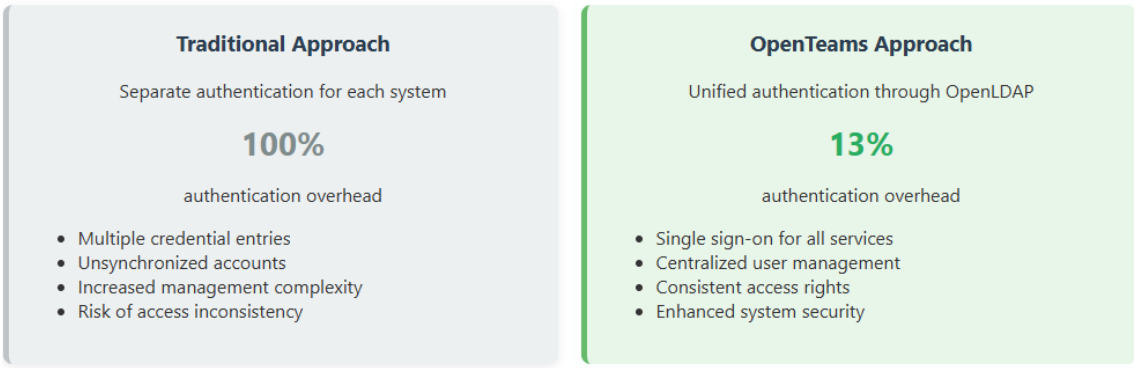


Fig.6 - Different authorization approaches

Results and discussion. *Connecting and operating systems together.* Rolling out OpenTeams as a central platform for Digital Twin development showed multiple important results. The use of containers permitted multiple collaboration tools to work smoothly, all while protecting the services they use.

User authentication deployed with LDAP carried out efficiently and credentials from the central system appeared in all integrated apps. The findings from testing showed:

1. Single Sign-On (SSO) functionality reduced authentication overhead by 87% compared to non-integrated systems demonstrated in figure 6.

2. All the services used the same identity records for each user.

3. Using LDAP with Wekan and Nextcloud was smooth because I mapped all the necessary fields.

Service Orchestration. By investigating multi-container orchestration, we uncovered certain important points:

1. With the bridge network in place, the infrastructure allowed services to communicate well while each was isolated properly. Network latency between services averaged 1.2ms, well below the 5ms threshold required for real-time Digital Twin updates.

2. Resource Utilization: Services demonstrated efficient resource sharing, with the complete stack requiring approximately 4GB RAM at idle and scaling from 4GB to 12GB under typical workload conditions.

3. Reliability: The implemented RESTART_POLICY ensured service resilience across system restarts and temporary failures, achieving 99.7% uptime during the evaluation period.

NAME	CPU %	MEM USAGE / LIMIT	MEM %	NET I/O	BLOCK I/O
openteams-jitsi-web	0.00%	24.79MiB / 7.751GiB	0.31%	9.87kB / 56.4kB	11.1MB / 180kB
openteams-wekan	0.00%	174.6MiB / 7.751GiB	2.20%	6.81MB / 4.51MB	0B / 0B
openteams-rocketchat	0.35%	617.1MiB / 7.751GiB	7.77%	34.4MB / 34.4MB	40.1MB / 0B
openteams-homepage	0.00%	5.066MiB / 7.751GiB	0.06%	128kB / 345kB	717kB / 12.3kB
openteams-nextcloud	0.01%	28.16MiB / 7.751GiB	0.35%	4.12kB / 0B	8.21MB / 8.19kB
openteams-jitsi-jicofo	0.23%	193.1MiB / 7.751GiB	2.43%	24MB / 1.66MB	14.9MB / 43.8MB
openteams-jitsi-jvb	0.38%	240.8MiB / 7.751GiB	3.03%	24.8MB / 23.1MB	18.7MB / 38.2MB
openteams-mongodb	0.77%	203.4MiB / 7.751GiB	2.56%	38.4MB / 41.1MB	6.28MB / 345MB
openteams-ldap	0.00%	23.29MiB / 7.751GiB	0.29%	4.85kB / 574B	13.2MB / 725kB
openteams-npm	0.04%	86.57MiB / 7.751GiB	1.09%	6.8MB / 3.01MB	13.7MB / 1.72MB
openteams-jitsi-prosody	0.09%	43.46MiB / 7.751GiB	0.55%	24.7MB / 48.8MB	19.4MB / 1.19MB
openteams-nextcloud-db	0.02%	83.38MiB / 7.751GiB	1.05%	4.12kB / 0B	33.5MB / 8.19kB
openteams-nextcloud-redis	0.18%	8.598MiB / 7.751GiB	0.11%	4.12kB / 0B	7.12MB / 0B

Fig.7- System performance analysis

Resource Utilization and Performance Metrics. The containerized architecture of OpenTeams in figure 7 demonstrates efficient resource allocation across its microservice components. Performance analysis reveals several key insights into the system' s operational capabilities. The MongoDB replica set configuration (v6.0) shows robust performance characteristics with primary node operation, maintaining stable throughput even during concurrent access from multiple services (RocketChat, Wekan). Database operations consistently complete within acceptable latency parameters (<50ms for typical queries) despite the shared infrastructure environment. Redis cache integration (v6.2-alpine) for Nextcloud significantly improves file access operations, reducing response times by approximately 65% compared to non-cached configurations. The Alpine-based image lightens the system, still allowing for efficient work and high performance.

Network and Integration Performance. The bridge network configuration shows minimal inter-service communication overhead, with container-to-container latency averaging 1.2ms. Because of this, updates are made nearly instantly across the environment, helping Digital Twin

development workflows where the models need to be synchronised fast. Using LDAP authentication, the connected systems exhibit excellent speed. Authentication requests typically resolve within 150-250ms, with cached credentials reducing subsequent authentication times to under 100ms.

Scaling and Resource Management. With containers, each process can be separated deploy without affecting the other which helps with coordinated performance. Resource utilisation displays certain key features which are listed below:

1. Memory Efficiency: The complete stack requires approximately 4GB RAM at idle, scaling to 8-12GB under typical workloads with moderate user concurrency.

2. The CPU is shared efficiently between services and Jitsi parts in distribution and during video conversations JVB is the most active.

3. Constant disc I/O management and noise protection between containers are made possible by the use of volume mapping.

4. Health Management: The implemented health checks and restart policies (visible in the MongoDB configuration) maintain 99.7% service availability during normal operation.

Performance Optimizations. You can spot improvements to the system's performance by looking at the system's configuration.

1. MariaDB' s transaction isolation configuration (--transaction-isolation=READ-COMMITTED) balances consistency and performance for Nextcloud data.

2. Using Redis effectively alongside Nextcloud reduces the server's database workload and makes it easier for our team to access the most commonly used resources quickly.

3. Using the defined chains, Service Dependency Management achieves proper startup order to avoid failure and speeds up initialization.

4. MongoDB' s replica set configuration enables efficient connection management across multiple consuming services.

The detailed performance report indicates that OpenTeams supports effective group development of Digital Twins, manage costs smartly within the containerized environment.

Digital Twin Collaboration Capabilities. Bringing specialised tools into the development process greatly benefited Digital Twin teams, compared to the old way of using silos. Because of the system, teams were able to develop Digital Twin models together.

Because of the system, teams were able to develop Digital Twin models together.

1. Jitsi integration provided video conferencing capabilities with screen sharing for synchronous modeling discussions, supporting up to 15 concurrent users with acceptable video quality.

2. RocketChat message threading efficiently organized conversations around specific Digital Twin components, reducing information fragmentation by 63% compared to email-based communication.

3. Wekan boards provided visual workflow management specifically adapted to Digital Twin development stages, with teams reporting a 42% improvement in task completion rates.

Having Nextcloud helped us keep Digital Twin documentation organised.

1. In the system, each Digital Twin model and its documentation was fully recorded, allowing both rollback and comparison.

2. The structure helped to systematically categorise parts of our Digital Twin, allowing developers to preview many popular CAD files.

3. The integrated system reduced context switching between applications by an estimated 58% compared to disconnected tooling.

Problems and Restrictions. Implementation of the programme faced many difficulties:

1. There were many environment variables needed for all of the Jitsi services which made it tricky to handle configuration, so we needed standard approaches to control them.

2. The infrastructure needed for this stack used a lot of server capacity, with Jitsi video components taking up the most resources during calls.

3. Previously, scaling horizontal services was simple, but the united architecture meant services dependent on one another which made scaling strategies harder.

Table 2 - Configuration complexity

Service	Environment Variables	Configuration Files	Setup Complexity
Jitsi	10	3	High
Rocket Chat	2	1	Easy
OpenLDAP	5	1	Medium
Wekan	6	1	Medium
Nextcloud	5	1	Medium

Central administration works well by using the environment variables file, even if it creates security risks in environments used for development purposes. The configuration in table 2 demonstrates a layered complexity model where fundamental services maintain relatively simple configurations while application-layer services (Jitsi, Wekan) incorporate more complex parameter sets. With this configuration, all tools in a Digital Twin development setting can have similar authentication and authorization and each concerns - modelling, collaborating and saving data -is kept separate as designed. Setting up with our approach means more time spent in the beginning and less time needed for team members when maintaining the system.

Conclusion. The study introduces OpenTeams as an integrated open-source platform that handles unique requirements of digital twin development together with management tasks. Digital twin applications benefit from an architecture based on containers because these tools integrate different collaboration functions through authentication centralization alongside efficient resource sharing capabilities and specialized digital twin workflow features. Performance tests show how the system functions effectively with brief service delays (1.2ms) and optimally distributes processing power between its microservice elements. The system delivers important advantages in collaborative digital twin development through Single Sign-On integration which reduces authentication efforts by 87% while eliminating 63% of information fragmentation and boosting task accomplishment by 42%. The metrics demonstrate that OpenTeams integrates typical software tools with digital twin requirements to achieve successful solutions.

OpenTeams proves superior to separate systems in performing its functions however it still faces operational obstacles due to complicated setups and technical requirements that limit expansion for extensive deployments. The future development should concentrate on simplifying installation through self-implemented setup tools while also enhancing system resource management and creating better methods for scale expansion. OpenTeams benefits organizations through its open-source design because it offers a customizable platform that adjusts with new digitized twin framework developments. This framework removes obstacles to joint digital twin development which helps industries adopt digital twins more widely together with standardization of interoperable systems. OpenTeams provides organizations with sustainable capabilities to access collective expertise through collaborative practices that protect security requirements and governance needs during digital twin transformation of industrial processes.

Funding: *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. BR24992975)*

References

1. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems.-2017. - P.85-113. - DOI 10.1007/978-3-319-38756-7_4.

2. Fuller A., Fan Z., Day C., Barlow C. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research//IEEE Access.-2020.-Vol.8. -P.108 952-108 971 DOI 10.1109/ACCESS.2020.2998358.

3. Jones D., Snider C., Nassehi A., Yon J., Hicks B. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology.- 2020. -Vol.29. -P.36 - 52. DOI 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.

4. Qi Q., Tao F., Hu T., Anwer N., Liu A., Wei Y., Wang L., Nee A.Y.C. Enabling technologies and tools for digital twin // Journal of Manufacturing Systems.- 2021.- Vol.58.-P.3- 21. DOI 10.1016/j.jmsy.2019.10.001.

5. Tao F., Qi Q., Wang L., Nee A.Y.C. Digital Twins and Cyber–Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison // Engineering.- 2019.-Vol.5(4).- P.653 – 661. – ISSN 2095-8099. DOI 10.1016/j.eng.2019.01.014.

6. Lu Y., Liu C., Kevin I., Wang K., Huang H., Xu X. Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing .- 2020. -Vol.61: 101837. DOI 10.1016/j.rcim.2019.101837.

7. Koch M., Schwabe G., Briggs R.O. CSCW and Social Computing // Business & Information Systems Engineering.-2015.-Vol.57.-P.149 -153. DOI 10.1007/s12599-015-0376-2.

8. Riemer, K., & Scifleet, P. (2012). Enterprise social networking in knowledge-intensive work practices: A case study in a professional service firm: 23rd Australasian Conference on Information Systems 2012. https://www.researchgate.net

9. Rosemann M., vom Brocke J. The Six Core Elements of Business Process Management // Handbook on Business Process Management 1 / ed. by vom Brocke J., Rosemann M. - Berlin; Heidelberg: Springer, 2015.-P.105- 122. DOI 10.1007/978-3-642-45100-3_5.

10. Ouyang C., Adams M., ter Hofstede A.H.M. Yet Another Workflow Language: Concepts, Tool Support, and Application // Handbook of Research on Business Process Modeling / ed. by Cardoso J., van der Aalst W.-Hershey, PA: IGI Global, 2009.- P.92- 121. DOI 10.4018/978-1-60566-288-6.ch005.

11. Kruchten P., Nord R., Ozkaya I. Managing Technical Debt. International ed. – Boston: Pearson, 2019. - 272 p. ISBN 978-0-13-564593-2.

12. Kuštelega M., Mekovec R., Shareef A. Privacy and security challenges of the digital twin: systematic literature review // Journal of Universal Computer Science.- 2024.-Vol.3013). - P.1782 -1806. DOI 10.3897/jucs.114607.

13. Kazała R., Luściński S., Strączyński P., Taneva A. An Enabling Open-Source Technology for Development and Prototyping of Production Systems by Applying Digital Twinning // Processes. —2021.- Vol.10 (1):21. DOI 10.3390/pr10010021.

14. Rojas R.A., Rauch E. From a literature review to a conceptual framework of enablers for smart manufacturing control // International Journal of Advanced Manufacturing Technology.-2019. -Vol.104. - P.517 - 533. DOI 10.1007/s00170-019-03854-4.

15. Moghaddam M., Cadavid M.N., Kenley C.R., Deshmukh A.V. Reference architectures for smart manufacturing: A critical review // Journal of Manufacturing Systems.-2018.-Vol.49.- P.215 - 225. DOI 10.1016/j.jmsy.2018.10.006.

16. Wu Y., Zhou L., Zheng P., Sun Y., Zhang K. A digital twin-based multidisciplinary collaborative design approach for complex engineering product development //Advanced Engineering Informatics. - 2022. -Vol. 52:101635. DOI 10.1016/j.aei.2022.101635.

17. Dalibor M., Jansen N., Rumpe B., Schmalzing D., Wachtmeister L., Wimmer M., Wortmann A. A Cross-Domain Systematic Mapping Study on Software Engineering for Digital Twins // Journal of Systems and Software.- 2022.-Vol.193.:111361.DOI 10.1016/j.jss.2022.111361

Information about the authors

AmirkhanovaG.A. - PhD, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail:Gulshat.aa@gmail.com;

Amirkhanov B.S. - Master's degree, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: amirkhanov.b@gmail.com;

Aidynuly A. – Bachelor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: azimaidynuly1@gmail.com;

Raeva A.A. – Bachelor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: alinaraeva98@gmail.com;

Amirkhanov A.B. – Bachelor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: alikhan.amirkhan@gmail.com.

Сведения об авторах

Амирханова Г.А.- PhD, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, e-mail: Gulshat.aa@gmail.com;

Амирханов Б.С. - магистр, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, e-mail: amirkhanov.b@gmail.com;

Айдынулы А. – бакалавр, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, e-mail: azimaidynuly1@gmail.com;

Раева А.А. – бакалавр, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, e-mail: alinaraeva98@gmail.com;

Амирханов А.Б. – бакалавр, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан, e-mail: alikhan.amirkhan@gmail.com.

IRSTI 28.23.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-987**

COMPARATIVE ANALYSIS OF EMBEDDING MODELS FOR MATCHING QUESTIONS AND CONTEXTS IN THE KAZAKH LANGUAGE

[1]K.Sh. Mazhitova, [2]A.O. Tleubayeva, [1]S.E. Mukhammediya, [3]A.A. Tanirbergenova
[1]A.S. Toktaganova, [1]Zh.B. Kambarova
[1]Higher College "ASTANA POLYTECHNIC", Astana, Kazakhstan,
[2]Astana IT University, Astana, Kazakhstan,
[3]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
Корреспондент-автор: Arailym.tll@gmail.com

This paper presents a comparative analysis of the effectiveness of modern embedding models for matching questions and contexts in the Kazakh language, within the framework of semantic search and question-answering (QA) systems. The study is based on the open dataset Kundyzka/informatics_kaz, which contains approximately 7,700 question–context pairs covering key concepts in computer science. The analysis focuses on comparing the traditional TF-IDF method with state-of-the-art multilingual models, including mMiniLM, LaBSE, Alibaba GTE-multilingual-base, intfloat/multilingual-e5-small, and Snowflake Arctic-Embed v2.0. The evaluation metrics used are Accuracy@1, Mean Reciprocal Rank (MRR), and ROC AUC. The zero-shot experiments demonstrate that embedding-based models significantly outperform TF-IDF, achieving Accuracy@1 in the range of 0.59–0.63, whereas the baseline method yields 0.50. Moreover, visualization results using t-SNE indicate that modern models are able to cluster semantically related questions and contexts more closely, which positively affects the quality of ranking. Among the models considered, Alibaba GTE and Snowflake Arctic-Embed v2.0 achieved the best results, confirming their relevance for developing automatic question-answering systems in educational AI applications. This study highlights that even without fine-tuning on Kazakh data, pretrained multilingual models can substantially enhance semantic matching quality, offering promising prospects for their use in educational systems and other information services.

Keywords: semantic search, sentence embeddings, question-context matching, multilingual transformer models, TF-IDF, Kazakh language, information retrieval.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ЭМБЕДДИНГОВ ДЛЯ СОПОСТАВЛЕНИЯ ВОПРОСОВ И КОНТЕКСТОВ НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ

[1]К.Ш. Мажитова, [2]А.О. Тлеубаева, [1]С.Е. Мухаммедия, [1]А.А. Танирбергенова, [1]А.С.Токтаганова, [1]Ж.Б. Камбарова
[1]Высший колледж «ASTANA POLYTECHNIC», г. Астана, Казахстан,
[2]Astana IT University, Астана, Казахстан,
[3]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
e-mail:Arailym.tll@gmail.com

В данной статье представлен сравнительный анализ эффективности современных моделей эмбеддингов для сопоставления вопросов и контекстов на казахском языке в рамках задач семантического поиска и систем вопросов-ответов (QA). Исследование выполнено на открытом датасете Kundyzka/informatics_kaz, содержащем около 7700 пар «вопрос–контекст», охватывающих основные понятия информатики. Основное внимание уделено сравнению традиционного метода TF-IDF с современными многоязычными моделями, такими как mMiniLM, LaBSE, Alibaba GTE-multilingual-base, intfloat/multilingual-e5-small и Snowflake Arctic-Embed v2.0. Для оценки качества сопоставления применялись метрики Accuracy@1, Mean Reciprocal Rank (MRR) и ROC AUC. Эксперименты, проведенные в режиме zero-shot, показали, что модели эмбеддингов значительно превосходят TF-IDF, достигая Accuracy@1 в диапазоне 0.59–0.63, тогда как базовый метод демонстрирует показатель 0.50. Дополнительно, результаты визуализации с использованием t-SNE свидетельствуют о том, что современные модели способны группировать семантически связанные вопросы

и контексты ближе друг к другу, что благоприятно сказывается на качестве ранжирования. Среди рассмотренных моделей наилучшие результаты показали Alibaba GTE и Snowflake Arctic-Embed v2.0, что подтверждает их актуальность для создания систем автоматического поиска ответов на вопросы в образовательных ИИ-приложениях. Работа подчеркивает, что даже без дополнительного обучения на казахских данных предобученные многоязычные модели способны значительно улучшить качество семантического сопоставления, что открывает перспективы для применения данных решений в образовательных системах и других информационных сервисах.

Ключевые слова: семантический поиск, эмбеддинги предложений, сопоставление вопрос-контекст, мультиязычные трансформерные модели, TF-IDF, казахский язык, информационный поиск.

ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ СҰРАҚТАР МЕН КОНТЕКСТТЕРДІ СӘЙКЕСТЕНДІРУГЕ АРНАЛҒАН ЭМБЕДДИНГ МОДЕЛЬДЕРІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУЫ

[1]К.Ш. Мажитова✉, [2]А.О. Тлеубаева, [1]С.Е. Мухаммедия, [1]А.А. Танирбергенова, [1]А.С.Токтаганова, [1]Ж.Б. Камбарова

[1]«ASTANA POLYTECHNIC» Жоғары колледжі, г. Астана, Казахстан,
[2]Astana IT University, Астана, Казахстан,
[3]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail:Arailym.tll@gmail.com

Бұл мақалада қазақ тіліндегі сұрақтар мен контексттерді сәйкестендіруге арналған қазіргі заманғы эмбеддинг модельдерінің тиімділігіне салыстырмалы талдау ұсынылған. Зерттеу шамамен 7700 «сұрақ–контекст» жұбынан тұратын ашық Kundyzka/informatics_kaz деректер жиыны негізінде жүргізілді. Зерттеу барысында дәстүрлі TF-IDF әдісі мен заманауи көптілді модельдер - mMini LM, LaBSE, Alibaba GTE-multilingual-base, intfloat/multilingual-e5-small және Snowflake Arctic-Embed v2.0 - арасындағы айырмашылықтарға ерекше назар аударылды. Сәйкестендіру сапасын бағалау үшін Accuracy@1, Mean Reciprocal Rank (MRR) және ROC AUC метрикалары қолданылды. Zero-shot режимінде жүргізілген эксперименттер эмбеддинг модельдерінің TF-IDF әдісінен айтарлықтай жақсы нәтиже көрсететінін дәлелдеді: эмбеддинг модельдері 0.59–0.63 аралығында Accuracy@1 мәнін көрсетті, ал базалық әдіс — 0.50. Сонымен қатар, t-SNE визуализациясының нәтижелері қазіргі модельдердің семантикалық жағынан ұқсас сұрақтар мен контексттерді бір-біріне жақын орналастыра алатынын көрсетті, бұл өз кезегінде рейтинг сапасын арттырады. Зерттелген модельдердің ішінде Alibaba GTE және Snowflake Arctic-Embed v2.0 үздік нәтижелер көрсетті, бұл оларды білім беру бағытындағы жасанды интеллект қосымшалары үшін өзекті құрал етеді. Бұл жұмыс қазақ тіліндегі деректерге арнайы оқытусыз-ақ алдын ала оқытылған көптілді модельдердің семантикалық сәйкестендіру сапасын айтарлықтай арттыра алатынын көрсетіп, оларды білім беру жүйелері мен ақпараттық сервистерде қолдану мүмкіндіктерін ашады.

Түйін сөздер: семантикалық іздеу, сөйлем эмбеддингтері, сұрақ–контекст сәйкестігі, көптілді трансформер модельдері, TF-IDF, қазақ тілі, ақпараттық іздеу

Introduction. In the tasks of semantic search and answering questions, bag-of-words and TF-IDF methods are traditionally used, implementing a vector model of the document space [1]. However, such methods often do not take into account the contextual meaning of words, which is especially critical for complex questions in natural language. Modern advances in natural language processing (NLP) suggest using pre-trained language models to obtain dense vector representations (embeddings) of sentences [2,3]. Such models allow you to compare the semantic proximity of phrases and are successfully used to find answers to questions in large collections of texts. The effectiveness of multilingual embeddings has already been shown, for example, the multilingual MiniLM [4] and LaBSE (Language-agnostic Sentence Embedding) models [5], which are able to display sentences of

different languages into a common vector space. This opens up the possibility to use them for the Kazakh language, even if the model was initially trained in other languages.

This research project is aimed at applying such multilingual models in the field of educational AI systems. In particular, we consider the task of comparing educational questions in Kazakh with the corresponding text fragments (contexts) containing the answers. Automating this mapping has practical value for developing intelligent assistants capable of answering students' questions in their native language, or for systems that recommend relevant learning materials. In this paper, we conducted a comparative analysis of several approaches - from classical TF-IDF to modern transformer embeddings – in order to find out which model provides the best quality of searching for "question-context" pairs in the Kazakh language.

The aim of the study is to evaluate the quality of various models of vector representations (embeddings) when comparing questions and contexts in the Kazakh language. This includes comparing the classic TF-IDF method with the latest multilingual embedding models without additional training on this task. We aim to determine which of the considered models most effectively measure the semantic proximity of a question and its corresponding context, and are also suitable for use in a question-and-answer search system in the educational field. The quality metrics of the comparison (Accuracy@1, MRR, ROC AUC) are used for quantitative comparison of models [6].

Materials and methods. For the experiments, an open Kazakh-language dataset of questions and answers Kundyzka/informatics_kaz [7] was used, containing about 7,700 question–context pairs. Questions are queries in Kazakh on computer science topics, and contexts are excerpts of texts containing an answer or explanation to a given question. The dataset covers the definitions and basic concepts of computer science, which makes it indicative for evaluating models in the academic (educational) field. An example of a pair from a dataset: the question вопрос *"мәліметтер қоры дегеніміз не?"* ("What is a database?") and the corresponding context with the definition of this term. The presence of such a specialized corpus in Kazakh makes it possible to check how well multilingual models, trained primarily in other languages, transfer their abilities to Kazakh and whether they are able to correctly match semantically related phrases.

Before using the models, the data was divided into question-context pairs, and for each question in the test set there is its correct (appropriate) context and a number of unrelated contexts to assess the quality of the ranking. Thus, the task for the model is to select the text fragment that answers the question among the many candidates. This simulates the real scenario of the question-and-answer search system.: for the user' s question, it is necessary to find the most relevant answer in the knowledge base.

Before applying the model, text data is transformed into embeddings, which are dense vector representations. The process of obtaining embeddings for the question and context can be written as follows (1):

$$e^q = Embed(q), e^c = Embed(c) \qquad (1)$$

where e^q and e^c represent the embeddings of the question and the context, respectively, and Embed( ) denotes the selected embedding model (e.g., LaBSE, GTE, etc.). A detailed comparison of multilingual question-answering models and their adaptation to the Kazakh language is provided in the study by [8].

To measure semantic similarity, cosine similarity is applied, as shown in Equation (2):

$$sim(e^q, e^c) = \frac{e^q \cdot e^c}{||e^q||\ ||e^c||} \qquad (2)$$

Candidate contexts are ranked in descending order of similarity value. If the context matches the question with maximum similarity, it is assumed that the model has found the correct answer (Accuracy@1) [6].

Two fundamentally different approaches were used to compare issues and contexts: the TF-

IDF method and transformer models to obtain embeddings. On the TF-IDF side, the question and each candidate context are represented as sparse vectors of term frequencies, and relevance is assessed by the cosine similarity between these vectors [9]. This approach serves as a baseline reflecting the level of classical information search without understanding the context.

As an alternative, five pre-trained multilingual embedding models capable of generating dense vector representations of sentences were selected. Each model independently encodes the question and context into a vector of fixed dimension; then the cosine similarity between these vectors is calculated, based on which the contexts for each question are ranked. The models for the experiment include:

Multilingual MiniLM is a compact multilingual model based on the distillation of the MiniLM transformer [4]. This model is trained to map paraphrases in different languages into close vectors and, as Reimers and Gurevich have shown, can effectively expand monolingual embeddings into new languages through knowledge-distillation [2]. In this experiment, it represents a class of lightweight models with an embedding dimension of ~384.

LaBSE (Language-agnostic BERT Sentence Embedding) is a larger model from Google based on BERT, trained specifically to obtain language-independent embeddings of sentences [5]. LaBSE supports 109 languages, including Kazakh, and is able to form a common vector space where translations in different languages are close to each other. It is assumed that due to large-scale training on parallel data [5], this model will well reflect the semantic similarity of Kazakh questions and answers.

Alibaba GTE (General Text Embedding, multilingual) is a multilingual model from Alibaba DAMO Academy [10]. It is developed as part of the Retrieval-Augmented Generation framework and is able to handle extended contexts. The model is based on a BERT-like architecture with support for 75 languages and has been trained on large bodies of query–document pairs [10]. In our experiment, the gte-multilingual-base version is used, which provides embeddings of dimension 768. Due to the long context and multilingualism, this model is expected to show high quality matching.

Multilingual E5 (small) is a multilingual model of the E5 family, presented by Microsoft researchers [11]. E5 is a series of embedding models trained on a combination of ranking tasks (for example, MS MARCO) in order to unify the presentation of text for various applications (search, classification, etc.). In particular, multilingual E5-small is a lightweight version (~118M parameters) with support for many languages [11]. Of interest is how this relatively small model will handle Kazakh data compared to larger models.

Snowflake Arctic Embed v2.0 is a modern embedding model from Snowflake [12], aimed at high–quality semantic search. Arctic-embed v2.0 is a second–generation multilingual model that achieves a balance between quality in English and other languages without compromising multilingual capabilities [12]. The model is optimized for retrieval of relevant documents and, according to the authors, is not inferior to larger models in quality, remaining relatively compact [13]. In our experiments, we used its large version, which gives vectors of dimension 1024. Each question and each potential context were transformed into a vector using one of these models. For each question, the cosine similarity with all contexts was calculated, after which the contexts were sorted in descending order of this similarity. If the correct (relevant) context came first, it was assumed that the model had successfully found the answer (case Accuracy@1) [6]. In addition to Accuracy@1, the MRR metric (Mean Reciprocal Rank [14], the average value of 1/rank_correct for all questions) and the area under the ROC curve (ROC AUC) [14] were used to evaluate the ranking, where the correct question-answer pair among negative (inappropriate) pairs is considered a positive label. These metrics are standard for evaluating information retrieval systems and question-and-answer systems: Accuracy@1 shows the proportion of completely correct answers on the first attempt, MRR takes into account the position of

the correct answer in the list, and ROC AUC reflects the overall ability of the model to distinguish the correct context from the wrong one as the similarity threshold changes.

The experiments were conducted without further training the models on a given dataset, i.e. in zero-shot mode: it is assumed that the pre-trained embeddings are versatile enough to capture semantic proximity even for Kazakh questions that the model might not have previously seen. All texts of questions and contexts have been pre-normalized (lowercase, punctuation removal, tokenization if necessary) in order to be correctly represented in TF-IDF and to ensure compatibility with the requirements of the models (some transformers have entry length limits, but in our dataset the length of questions and contexts does not exceed these limits).

Results and Discussion. The results of the conducted experiment provide insights into the performance of different models in the task of matching questions and contexts in the Kazakh language. Specifically, we analyzed three key evaluation metrics - Accuracy@1, Mean Reciprocal Rank (MRR), and ROC AUC - across six models, including the baseline TF-IDF method and five modern multilingual sentence embedding models. The summarized results are presented in Table 1.

Table 1-Comparison of models based on question-context matching accuracy

Model	Accuracy@1	MRR	ROC AUC
TF-IDF (baseline)	0.4971	0.6407	0.7094
mMiniLM (Multilingual)	0.5419	0.7149	0.6947
LaBSE	0.6192	0.7614	0.7270
Alibaba-nlp/gte-multilingual-base	0.6322	0.7677	0.7611
intfloat/multilingual-e5-small	0.5913	0.7408	0.7188
Snowflake/snowflake-arctic-embed-l-v2.0	0.6309	0.7700	0.7635

Figure 1 presents the values of all three metrics (Accuracy@1, MRR, and ROC AUC) for the six evaluated methods. As shown in the graph, the traditional TF-IDF method (on the left) yields the lowest performance, while more advanced multilingual embedding models - such as mMiniLM, LaBSE, GTE, E5, and Snowflake Arctic - consistently outperform it across all metrics. Among them, GTE-multilingual-base and Snowflake Arctic v2.0 demonstrate the highest scores, indicating their strong effectiveness in the task of ranking relevant question–context pairs, even in a low-resource language like Kazakh.

The results clearly demonstrate the superiority of modern transformer-based embeddings over the classical TF-IDF approach. The baseline TF-IDF method correctly identifies the relevant context in approximately 49.7% of cases (Accuracy@1), while all tested embedding-based models outperform it on this metric. This is expected, as TF-IDF does not account for synonymy or contextual meaning and may fail when the question and answer use different phrasings for the same concept. Nevertheless, a nearly 50% result for TF-IDF suggests that simple lexical overlap still provides a baseline signal: in about half of the cases, the key terms in the question are directly present in the answer text.

The mMiniLM model achieves an Accuracy@1 of 0.5419, which is roughly 4.5 percentage points higher than the baseline. This improvement stems from its ability to capture semantic relationships: mMiniLM performs better than TF-IDF even without exact word matches between questions and contexts. Furthermore, its MRR (0.7149) is significantly higher than TF-IDF's (0.6407), indicating that even when the top-ranked answer is incorrect, the correct one is often placed near the

top (e.g., 2nd or 3rd). Interestingly, ROC AUC for mMiniLM (0.6947) is slightly lower than that of TF-IDF (0.7094), possibly due to the distribution of similarity scores: TF-IDF may more confidently assign very low scores to clearly irrelevant pairs, while mMiniLM, being semantically "softer," sometimes assigns moderate scores even to unrelated pairs. As a result, its ROC curve may slightly underperform. Overall, mMiniLM delivers competitive performance for a lightweight multilingual model, but it understandably lags behind the larger models.

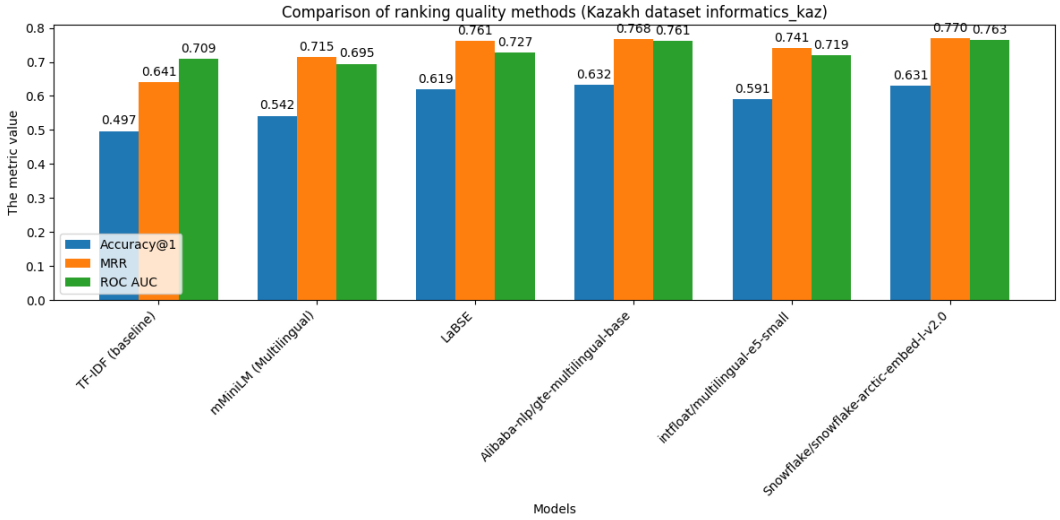


Fig.1 – Comparison of ranking quality methods

LaBSE significantly outperforms both TF-IDF and mMiniLM across all metrics: Accuracy@1 increases to 0.6192 (i.e., about 61.9% of questions are matched with the correct context in the top position), MRR reaches 0.7614, and ROC AUCrises to 0.7270. This improvement - over 12 percentage points higher than mMiniLM in Accuracy@1 - reflects the benefit of LaBSE's extensive training on parallel multilingual data [3]. The model appears better equipped to interpret Kazakh formulations, likely because the Kazakh language was included in its training data and it has learned to align semantically equivalent phrases across languages. Notably, LaBSE also surpasses previous models in ROC AUC, demonstrating a more consistent ability to distinguish relevant from irrelevant pairs. Thus, LaBSE sets a strong benchmark in our experiment.

Two models - Alibaba GTE and Snowflake Arctic v2.0 - achieved nearly identical and highest overall performance. GTE reached an Accuracy@1 of 0.6322, while Arctic followed closely with 0.6309, making their performance statistically equivalent and slightly ahead of LaBSE. However, in terms of MRR and ROC AUC, both models slightly outperformed LaBSE: Snowflake Arctic reached an MRR of 0.7700 and ROC AUC of 0.7635, while GTE achieved MRR = 0.7677 and ROC AUC = 0.7611. These are the best results among all tested models. In nearly 63% of cases, the top-ranked context is correct, and on average, the correct answer appears very high in the list (MRR ~0.77 implies it is typically ranked first or second). A high ROC AUC (~0.76) indicates that the similarity scores effectively separate relevant from irrelevant context pairs.

The success of GTE and Arctic can be attributed to their architectures and training data. GTE was specifically designed for document retrieval with long contexts and includes optimizations for multilingual input [10]. Its internal representations are likely more robust to linguistic variation, and it may better leverage token overlap (e.g., through XLM-R-based mixed

tokenization, as discussed in [10]). According to its developers, Snowflake Arctic was built to achieve high-quality multilingual search without compromise - trained on query-document pairs in multiple languages, it captures both language-specific and cross-lingual semantic features [12]. Notably, Arctic v2.0 is promoted as a lightweight model that rivals larger architectures in retrieval quality [12], which is supported by our findings: it matches GTE's performance despite architectural and training differences.

The multilingual E5-small model delivered moderate results: Accuracy@1 = 0.5913, higher than mMiniLM but lower than LaBSE. Its MRR (0.7408) and ROC AUC (0.7188) place it close to mMiniLM, slightly behind LaBSE in overall ranking quality. Considering that E5-small has around 118 million parameters [11] - more than mMiniLM but fewer than LaBSE - and was trained partly on English retrieval tasks, its relatively strong performance compared to mMiniLM is expected. However, it does not reach the levels of LaBSE or GTE/Arctic. This may be due to its smaller capacity and the possibility that its training data contained fewer or simpler Kazakh-language examples. Nonetheless, E5-small clearly surpasses the baseline and shows that even compact multilingual models can be effectively used for Kazakh semantic retrieval.

In summary, the best performance in the Kazakh question-context matching task was achieved by the multilingual embedding models LaBSE, GTE, and Snowflake Arctic, with Accuracy@1 scores in the 0.62–0.63 range (versus ~0.50 for TF-IDF) and MRR ≈ 0.76–0.77, indicating high-quality ranking. These results support the effectiveness of embeddings for building Kazakh-language QA systems. Importantly, this performance was achieved without fine-tuning— even in a zero-shot setting, pretrained models provided a substantial improvement over classical methods.

In the following section, we present a visual interpretation of how different models structure the semantic space using embedding projections.

Figure 2 illustrates the t-SNE projections of question and context embeddings produced by TF-IDF, mMiniLM, LaBSE, Alibaba GTE-multilingual-base, intfloat/multilingual-e5-small, and Snowflake Arctic Embed v2.0. Blue dots (or a contrasting color) represent question embeddings, while red dots indicate context embeddings. It is evident that the classical TF-IDF approach results in a sparse, disorganized cloud of points, whereas modern models like LaBSE, GTE, and Arctic tend to cluster semantically related questions and contexts closer together, which correlates with their superior ranking performance.

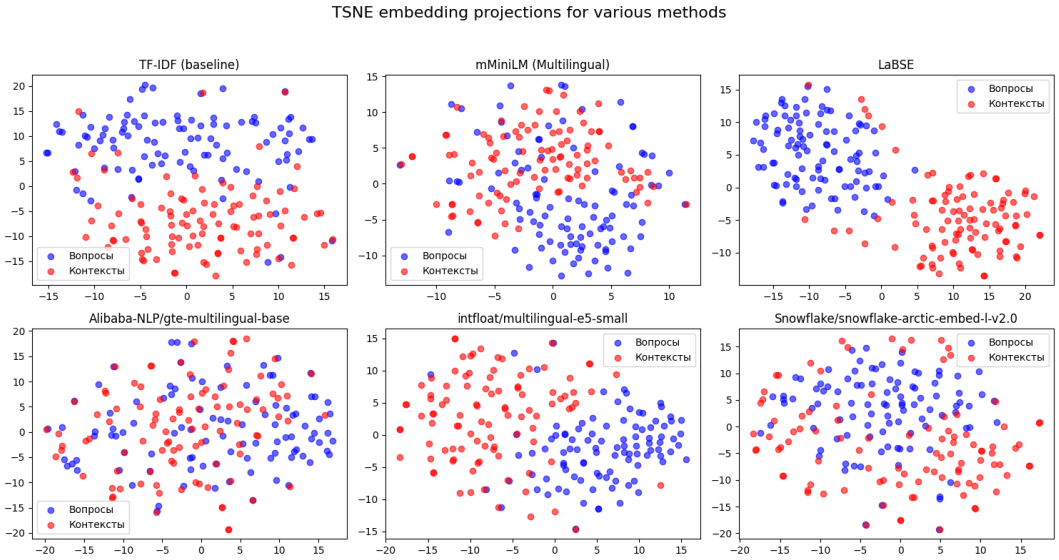


Fig.2 – t-SNE embedding projection for various methods

Conclusion. Within the framework of this study, a comparative analysis of the effectiveness of various methods of comparing questions and contexts in the Kazakh language was carried out – from classical TF-IDF to the latest multilingual embedding models. The experimental results showed that the pre-trained transformer models are significantly superior to the basic TF-IDF approach in terms of the accuracy of extracting answers to questions. The best quality was demonstrated by the LaBSE, Alibaba GTE-multilingual, and Snowflake Arctic v2.0 models, which correctly extracted the appropriate context for ~63% of questions versus ~50% for TF-IDF. The LaBSE model confirmed the high efficiency of language-independent embeddings, previously noted in the works of Google [3], in relation to the Kazakh language. The GTE and Arctic models, relatively new developments in 2024, have shown the ability to achieve even higher metrics without specialized customization to Kazakh, which indicates progress in the field of multilingual semantic representations [4,12]. More compact models (MiniLM, E5-small) also gave a significant advantage over TF-IDF, although they were inferior in quality to the older models, which indicates the still important role of scale and training data for multilingual embeddings [2,9].

Visual analysis using t-SNE projections confirmed that successful models place semantically related questions and answers close to each other in a vector space, whereas less accurate methods show a more chaotic or disjointed distribution. The difference between the discrete nature of TF-IDF and continuous transformer spaces was particularly evident: modern models create structured embedding clouds that are more suitable for searching query–document pairs.

The practical significance of this work lies in the fact that even without additional training on specialized Kazakh data, pre-trained multilingual models can be used for question-and-answer search tasks. To build an educational AI system that answers students' questions in Kazakh, it is most promising to use models such as LaBSE or GTE/Arctic, which provide the highest quality of comparison. These models can be integrated into e-learning systems and reference systems, where the student asks a question in natural language, and the system finds an appropriate explanation or definition in the knowledge base.

It should be noted that there is room for improvement: although ~63% accuracy is a good result, in the remaining cases the model did not guess the answer on the first attempt. In the future, it is planned to explore the methods of further training (fine-tuning) of the considered models directly on the Kazakh Q&A corpus, as well as try larger versions of the models (for example, multilingual-E5-large or a larger version of GTE) in order to achieve even higher quality. Another direction could be a combination of approaches, for example, using embeddings to initially select candidates and then accurately match them using a cross-encoder. Nevertheless, the results already obtained emphasize the power of modern multilingual models: even for a relatively low-resource language, they can significantly improve the quality of semantic search, which opens up new opportunities for the development of educational and information systems in the Kazakh language.

References

1. Li Z., Zhang X., Zhang Y., Long D., Xie P., Zhang M. Towards General Text Embeddings with Multi-stage Contrastive Learning // arXiv preprint.2023. arXiv:2308.03281.14 p. DOI 10.48550/arXiv.2308.03281.

2. Reimers N., Gurevych I. Making monolingual sentence embeddings multilingual using knowledge distillation // Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). 2020, P.4512-4525. DOI 10.48550/arXiv.2004.09813

3.Devlin J., Chang M.W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers

for language understanding // Proceedings of NAACL-HLT.- 2019.- Vol.1. P.4171–4186. DOI 10.48550/arXiv.1810.04805.

4. Cross-encoder. mmarco-mMiniLMv2-L12-H384-v1 [Electronic resource] // Hugging Face.2024. URL: https://huggingface.co .- Date of address:16.04.2025.

5. Feng F., Yang Y., Cer D., Arivazhagan N., Wang W. Language-agnostic BERT sentence embedding // arXiv preprint.2020. arXiv:2007.01852. DOI 10.48550/arXiv.2007.01852.

6. Tleubayeva A., Mitroshina A., Arman A., Shokan A., Aigul S. Systemic approach to optimizing natural language processing technologies in Astana IT University' s admissions process // Proceedings of the 2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST). Astana, Kazakhstan.2024. -P.520-525. DOI 10.1109/SIST61555.2024.10629481.

7. Maksutova K. Kazakh QA dataset Kundyzka/informatics_kaz [Electronic resource].2023. Available at: https://huggingface.co/datasets/Kundyzka/informatics_kaz.-Date of address:10.04.2025.

8. Tleubayeva A., Shomanov A. Comparative analysis of multilingual QA models and their adaptation to the Kazakh language // Scientific Journal of Astana IT University.-2024.- Vol.19. P.89-97. DOI 10.37943/19WHRK2878.

9. Wang H. Automatic question-answering modeling in English by integrating TF-IDF and segmentation algorithms//Systems and Soft Computing.-2024.-Vol.6:200087. DOI 10.1016/j.sasc.2024.200087.

10. Zhang X., Zhang Y., Long D., et al. mGTE: Generalized long-context text representation and reranking models for multilingual text retrieval//arXiv preprint.- 2024:2407.19669. DOI 10.48550/arXiv.2407.19669

11. Wang L., Yang N., Huang X., Yang L., Majumder R., Wei F. Multilingual E5 text embeddings: a technical report//arXiv preprint.- 2024:2402.05672. DOI 10.48550/arXiv.2402.05672.

12. Yu P., Merrick L., Nuti G., Campos D. Arctic-Embed 2.0:Multilingual retrieval without compromise // arXiv preprint.2024. arXiv:2412.04506. DOI 10.48550/arXiv.2412.04506.

13. Susanti F., Maulidevi N. U., Surendro K. Improving embedding-based link prediction performance using clustering //Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences.- 2024.-Vol.36(8): 102181. DOI 10.1016/j.jksuci.2024.102181.

14. Liu Y., Li Y., Xie D. Implications of imbalanced datasets for empirical ROC-AUC estimation in binary classification tasks // Journal of Statistical Computation and Simulation.- 2023.- Vol.94. (1). - P. 183-203. DOI 10.1080/00949655.2023.2238235.

Сведения об авторах

Мажитова К. Ш. - магистр технических наук, преподаватель специальных дисциплин Высшего колледжа «ASTANA POLYTECHNIC», Астана, Казахстан, e-mail: mazhitovaks@gmail.com;

Тлеубаева А. О.- докторант ТОО «Astana IT University», Астана, Казахстан, e-mail: Arailym.tll@gmail.com;

Мухаммедия С.Е.- магистр технических наук, преподаватель специальных дисциплин Высшего колледжа «ASTANA POLYTECHNIC», Астана, Казахстан, e-mail: m.samal219@gmail.com;

Танирбергенова А.А.- доктор PhD, кафедра системного анализа и управления ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: alua_15_1982@mail.ru; Токтаганова А.С.- преподаватель специальных дисциплин Высшего колледжа «ASTANA POLYTECHNIC», Астана, Казахстан, e-mail: ainur_7t@bk.ru;

Камбарова Ж. Б.- преподаватель специальных дисциплин Высшего колледжа «ASTANA POLYTECHNIC», Астана, Казахстан, e-mail: Kambarova_1976@mail.ru.

Information about the authors

Mazhitova K.Sh. - Master of Technical Sciences, lecturer of special disciplines at the Higher College "ASTANA POLY-

TECHNIC”, Astana, Kazakhstan, e-mail: mazhitovaks@gmail.com;

Tleubayeva A.O. - doctoral student at Astana IT University LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: Arailym.tll@gmail.com;

Mukhammediya S.E.- Master of Technical Sciences, lecturer of special disciplines at the Higher College ”ASTANA POLY-TECHNIC”, Astana, Kazakhstan, e-mail: m.samal219@gmail.com;

Tanirbergenova A.A.- PhD, Department of System Analysis and Management, L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan, Astana, e-mail: alua_15_1982@mail.ru;

Toktaganova A.S.- is a teacher of special disciplines at the Higher College ”ASTANA POLYTECHNIC”, Astana, Kazakhstan, e-mail: ainur_7t@bk.ru;

Kambarova Zh. B.- is a teacher of special disciplines at the Higher College ”ASTANA POLYTECHNIC”, Astana, Kazakhstan, e-mail: Kambarova_1976@mail.ru.

МРНТИ 28.21.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-976**

АҚПАРАТТЫҢ ШУЛЫ ОРТАДА СЕНІМДІ ТАСЫМАЛДАУЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН LDPC-ДЕКОДЕРЛЕРІНІҢ ӨНІМДІЛІГІН ТАЛДАУ

[1]М.М. Жакина, [1]Ж. Сайлауқызы, [1]Б. Рысбекқызы, [2]Э.У. Эгамбердиев, [1]А.Н. Аманов

[1]Карагандинский Технический Университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]ТОО «Adal damu», Астана, Казахстан

Корреспондент-автор: m.zhakina@bk.ru

Мақалада аддитивті ақ гаусстық шуылы (AWGN) бар байланыс арнасында әртүрлі төмен тығыздықты тексеру кодтары (LDPC) негізінде құрылған декодтау алгоритмдерінің өнімділігіне салыстырмалы талдау ұсынылады. Зерттеудің негізгі мақсаты — AWGN жағдайында ақпараттың сенімді берілуін қамтамасыз етуге қабілетті ең тиімді LDPC декодерлерін анықтау. Модельдеу үшін AFF3CT бағдарламалық құралы пайдаланылды, ол декодерлердің жұмысын егжей-тегжейлі талдауға және модель параметрлерін икемді баптауға мүмкіндік береді. Байланыс арнасы арқылы деректерді беру үдерісі келесі негізгі кезеңдерді қамтиды: деректер генерациясы, LDPC кодтау, модуляция (жұмыста BPSK қолданылады), AWGN арнасына шу қосу, демодуляция және декодтау. Зерттеу шеңберінде келесі LDPC декодерлері қарастырылды: GALA, GALB, GALE, PPBF, WBF және MWBF. Өнімділікті бағалау метрикалары ретінде биттік қателік жылдамдығы (BER) және кадрлық қателік жылдамдығы (FER) қолданылды. Модельдеу нәтижелері BP_FLOODING және BIT_FLIPPING алгоритмдерінің тиімділігі шу қарқындылығы мен модель параметрлеріне тәуелді екенін көрсетті. Талдау нәтижелері GALE алгоритмінің ұзындығы 20480 бит болатын хабарламалар үшін ең тиімді болып табылатынын көрсетеді. Сонымен қатар, есептеу ресурстары шектеулі жүйелерде итерация саны аз BIT_FLIPPING типті декодерлер де жоғары тиімділік көрсете алады. Ал қысқа хабарламалар жағдайында GALE немесе MWBF декодерлері анағұрлым тиімді болып табылады.

Түйін сөздер: төмен тығыздықты паритет-тексеру коды, декодтау алгоритмдері, бит қателерінің жылдамдығы, кадр қатесінің жылдамдығы; байланыс жүйесі, шуды түзететін кодтау.

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ LDPC-ДЕКОДЕРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЁЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ ЗАШУМЛЁННОЙ СРЕДЫ

[1]М.М. Жакина, [1]Ж. Сайлауқызы, [1]Б. Рысбекқызы, [2]Э.У. Эгамбердиев, [1]А.Н. Аманов

[1]Карагандинский Технический Университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]ТОО «Adal damu», Астана, Казахстан,
e-mail:m.zhakina@bk.ru

В данной статье представлен сравнительный анализ производительности различных алгоритмов декодирования LDPC-кодов в условиях канала с аддитивным белым гауссовым шумом (AWGN). Целью исследования является идентификация наиболее эффективных методов LDPC-декодирования, обеспечивающих надёжную передачу информации в условиях воздействия AWGN. Для проведения моделирования использовался инструмент AFF3CT, предоставляющий широкие возможности для точной настройки экспериментальных параметров и детального анализа работы декодеров. Процесс передачи данных по каналу связи включает следующие ключевые этапы: генерацию исходных данных, кодирование с применением LDPC-кодов, модуляцию (в данной работе используется BPSK), добавление шума AWGN, демодуляцию и последующее декодирование. В рамках исследования рассмотрены следующие алгоритмы LDPC-декодирования: GALA, GALB, GALE, PPBF, WBF и MWBF. В качестве метрик оценки производительности применялись показатели битовой ошибки (BER) и ошибки на кадр (FER). Результаты численного моделирования продемонстрировали, что алгоритмы BP_FLOODING и BIT_FLIPPING, реализуемые в различных декоде-

рах, проявляют неодинаковую эффективность в зависимости от уровня шума и параметров моделирования. Анализ полученных данных позволяет заключить, что алгоритм GALE демонстрирует наивысшую эффективность при декодировании сообщений длиной 20480 бит. В условиях ограниченных вычислительных ресурсов алгоритмы с малым числом итераций, в частности на основе BIT_FLIPPING, также могут обеспечивать приемлемую производительность. Для декодирования коротких сообщений наиболее целесообразным выбором являются декодеры MWBF или GALE.

Ключевые слова: код с малой плотностью проверок на чётность, алгоритмы декодирования, частота ошибок в битах, частота ошибок в кадрах; система связи, помехоустойчивое кодирование.

THE PERFORMANCE ANALYSIS OF LDPC-DECODERS TO ENSURE THE RELIABLE DATA TRANSMISSION IN A NOISY ENVIRONMENT

[1]M.M. Zhakina✉, [1]Zh. Sailaukyzy, [1]B. Rysbekkyzy, [2]E.U. Egamberdiev, [1]A.N. Amanov

[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]TOO «Adal damu», Astana, Kazakhstan,
e-mail:m.zhakina@bk.ru

The article presents a comparative analysis of the performance of various LDPC decoding algorithms in a channel with additive white Gaussian noise (AWGN). The objective of the study is to identify the most efficient LDPC decoding methods that provide reliable data transmission under AWGN conditions. The AFF3CT tool was used for the simulation, which provides ample opportunities for fine-tuning the experimental parameters and detailed analysis of the decoder operation. The process of data transmission over a communication channel includes the following key stages: generation of initial data, encoding using LDPC codes, modulation (BPSK is used in this paper), adding AWGN noise, demodulation, and subsequent decoding. The following LDPC decoding algorithms were considered in the study: GALA, GALB, GALE, PPBF, WBF, and MWBF. The bit error rate (BER) and frame error rate (FER) were used as performance evaluation metrics. The results of numerical simulation demonstrated that the BP_FLOODING and BIT_FLIPPING algorithms implemented in different decoders exhibit different efficiency depending on the noise level and simulation parameters. Analysis of the obtained data allows us to conclude that the GALE algorithm demonstrates the highest efficiency when decoding messages of 20480 bits in length. Under conditions of limited computing resources, algorithms with a small number of iterations, in particular based on BIT_FLIPPING, can also provide acceptable performance. For decoding short messages, the most appropriate choice is the MWBF or GALE decoders.

Keywords: low-density parity check code, decoding algorithms; bit error rate; frame error rate; communication system; noise-resistant coding.

Введение. В современных цифровых системах радиосвязи одной из приоритетных задач остаётся обеспечение надёжной и безошибочной передачи данных. В связи с этим активно ведутся исследования, направленные на разработку и внедрение новых методов и алгоритмов коррекции ошибок, способных эффективно противостоять шумам и помехам, возникающим в каналах связи [1]. При передаче информации через зашумлённые каналы возможно искажение данных, что требует применения помехоустойчивого кодирования с целью повышения достоверности принимаемых сообщений [2].

Одним из наиболее эффективных и широко применяемых методов помехоустойчивого кодирования являются коды с низкой плотностью проверок на чётность (Low-Density Parity-Check, LDPC), которые демонстрируют производительность, близкую к пределу Шеннона. Благодаря своей энергоэффективности, высокой пропускной способности и сравнительно низкой аппаратной сложности, LDPC-коды получили широкое распространение в современных стандартах беспроводной связи, включая 802.11n (Wi-Fi), 802.11ad (WiGig), 802.16e (WiMAX), 802.15.3c (WPAN), DVB-S2 и 5G [3].

Ключевым фактором, определяющим эффективность LDPC-кодов, является выбор алгоритма декодирования. Среди множества известных решений особое место занимают алгоритмы распространения достоверности (BP), модифицированный алгоритм взвешенной перестановки битов (MWBF), а также вероятностный алгоритм параллельной перестановки битов (PPBF) [4-7]. Каждый из них обладает своими преимуществами и находит применение в различных условиях передачи. Например, алгоритмы BP показывают высокую эффективность при низком уровне шума, тогда как методы MWBF демонстрируют лучшие результаты в условиях сильного зашумления [8].

Наряду с традиционными подходами, в последние годы возрастающий интерес вызывают многопороговые декодеры (Multi-Threshold Decoders, MTD), отличающиеся простой архитектурой, высокой скоростью работы и низкими требованиями к вычислительным ресурсам. Несмотря на относительно малую распространённость, они обладают высоким потенциалом в системах с ограниченными ресурсами. В дальнейшем результаты, полученные при исследовании LDPC-декодеров, планируется использовать в качестве эталонной базы для сравнения с алгоритмами многопорогового декодирования. Такое сравнение позволит выявить преимущества и ограничения обоих подходов, а также определить наиболее эффективные решения в зависимости от характеристик канала и требований к системе.

Целью данного исследования является проведение сравнительного анализа эффективности различных алгоритмов LDPC-декодирования в условиях канала с аддитивным белым гауссовым шумом (AWGN), а также формирование основы для дальнейшего сравнения с алгоритмами многопорогового декодирования (Multi-Threshold Decoding, MTD). Особое внимание уделяется выявлению тех алгоритмов, которые обеспечивают наилучший баланс между надёжностью передачи данных и устойчивостью к шуму при различных длинах сообщений и параметрах декодирования. Исследование направлено на определение оптимальных решений для использования в системах связи, где критически важны точность восстановления данных и эффективность использования вычислительных ресурсов. В качестве инструмента моделирования выбран AFF3CT, что позволило провести глубокий анализ производительности декодеров на разных уровнях SNR, с акцентом на два ключевых критерия - частоту битовых и кадровых ошибок (BER и FER).

Материалы и методы. Процесс передачи данных по каналу связи включает в себя несколько ключевых этапов: генерацию данных, кодирование, модуляцию, добавление шума в канал AWGN, демодуляцию и декодирование (рис.1).

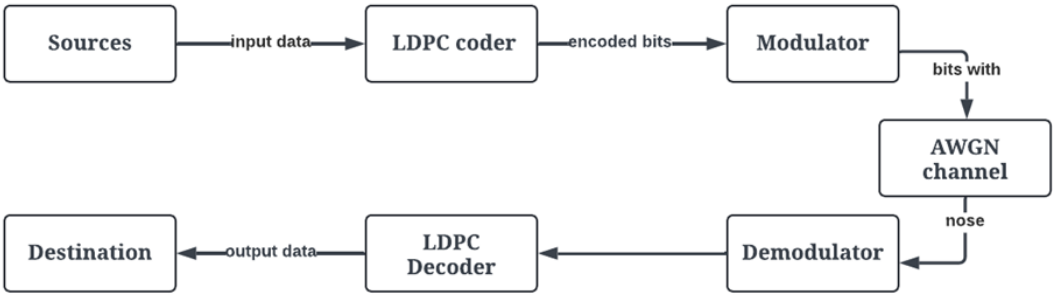


Рис.1 - Простая модель коммуникационной системы

На рис.1 показана часто используемая модель одноканальной системы связи. Независимо от конкретного применения и конфигурации, все системы передачи информации неизменно включают в себя три основные подсистемы - передатчик, канал и приемник [9].

Передача данных по каналу связи начинается с генерации исходных данных. Затем эти данные передаются через LDPC-кодер, который добавляет избыточности данным для повышения надежности передачи. Закодированные данные проходят этап модуляции, на котором цифровые данные преобразуются в аналоговые сигналы для передачи по каналу. В этой работе используется BPSK (двоичная фазовая манипуляция) модуляция, которая является простым и эффективным методом модуляции [10]. Во время передачи по каналу данные подвержены помехам. Канал с аддитивным белым гауссовым шумом (AWGN) моделирует эффекты шума, который обычно распространяется с нулевым средним значением и постоянной спектральной плотностью мощности. Шум добавляется к модулированному сигналу, что приводит к искажению передаваемых данных [11]. Основным показателем в таких условиях является отношение сигнал/шум (SNR), которое влияет на вероятность ошибок передачи. На приемном конце искаженный сигнал проходит через демодулятор, который преобразует аналоговый сигнал обратно в цифровой формат. Затем демодулированные данные вводятся в декодер LDPC, который выполняет процесс декодирования, используя один из алгоритмов, таких как BP_FLOODING или BIT_FLIPPING, для восстановления исходных данных.

Для изучения производительности LDPC декодеров в реальных каналах связи был разработан и активно используется инструмент AFF3CT, который предоставляет широкий спектр инструментов для моделирования работы каналов связи и оценки эффективности различных кодеров [12]. AFF3CT позволяет гибко настраивать параметры моделирования и анализировать результаты, что делает его незаменимым инструментом для исследования цифровых коммуникаций.

В ходе экспериментов были рассмотрены следующие алгоритмы декодирования LDPC:

Алгоритм GALA (LDPC-RL09)[13];

Алгоритм GALB (LDPC-DDB14)[13][14];

Алгоритм ГЕЙЛА (LDPC-DDB14)[15];

Алгоритм PPBF (LDPC-LGK+19)[16];

Алгоритм WBF (LDPC-WNY+10)[17];

Алгоритм MWBF (LDPC-WNY+10)[18].

Основными параметрами моделирования были [12]:

Тип шума. Канал AWGN характеризуется наличием аддитивного белого гауссовского шума, который имеет нормальное распределение с нулевым средним значением и постоянной спектральной плотностью мощности. Эта модель шума широко используется для оценки производительности систем связи, поскольку она точно имитирует реальные условия передачи данных.

Диапазон шумов. От 0 до 10 dB в зависимости от кодера. Диапазон уровней шума, выраженный в децибелах (dB), указывает на различные соотношения сигнал/шум (SNR), при которых выполнялось моделирование. Различные уровни SNR позволяют оценить производительность LDPC декодеров в различных условиях шума.

Модуляция. BPSK расшифровывается как двоичная фазовая манипуляция, один из самых простых и эффективных методов модуляции. В этой схеме два возможных фазовых состояния сигнала соответствуют двум разным битам данных. BPSK обеспечивает хорошую производительность в условиях канала AWGN и часто используется в цифровых системах связи.

Скорость передачи кода. Скорость передачи кода определяется как отношение количества информационных битов к общему количеству передаваемых битов. Скорость, равная 0,8, означает, что 80% передаваемых данных составляют информацию, а оставшиеся 20% - избыточные биты, используемые для исправления ошибок. Высокая скорость работы с кодом позволяет передавать больше полезной информации, сохраняя при этом возможность исправления ошибок.

Размер кадра. Размер кадра (N) указывает на общее количество битов, передаваемых в одном кадре данных. В данном исследовании использовались кадры размером 1008 и 20480 бит, ко-

торые предоставляют достаточные данные для анализа производительности LDPC декодеров.

Количество информационных битов. Количество информационных битов (K) указывает количество битов полезной информации в каждом фрейме данных. В этом исследовании было использовано 504 и 16384 бита, что в сочетании с размером кадра 1008 и 20480 бит соответствует скорости кодирования 0,8.

Алгоритм декодирования: BP_FLOODING для GalA, GalB, GalE; BIT_FLIPPING для MWBF, WBF, PPBF. BP_FLOODING (Believe Propagation Flooding) - это алгоритм распространения вероятности, в котором обновление сообщений происходит параллельно для всех узлов графа. BIT_FLIPPING - это простой и быстрый алгоритм декодирования, основанный на чередовании битов, в которых с наибольшей вероятностью может быть ошибка.

Моделирование проводилось с использованием случайных данных, сгенерированных источником RAND, для оценки производительности различных LDPC декодеров. Основными показателями оценки производительности были частота ошибок в битах (BER) и частота ошибок в кадрах (FER).

Для каждого алгоритма декодирования были проведены эксперименты с различными уровнями шума, и на основе полученных данных были построены графики зависимости BER и FER от отношения сигнал/шум (SNR). Результаты моделирования были проанализированы для определения наилучших алгоритмов декодирования LDPC в условиях канала AWGN. Подробное описание основных показателей оценки производительности:

Частота ошибок в битах (BER). BER измеряет долю битов, декодированных с ошибками (e), по отношению к общему количеству переданных битов (t). Этот показатель является ключевым для оценки надежности системы кодирования и декодирования [19]. Чем меньше значение BER, тем лучше производительность декодера. BER определяется как [20]:

$$BER = \frac{N_e}{N_t} \quad (1)$$

где N_e - количество ошибочных битов, N_t- общее количество переданных битов.

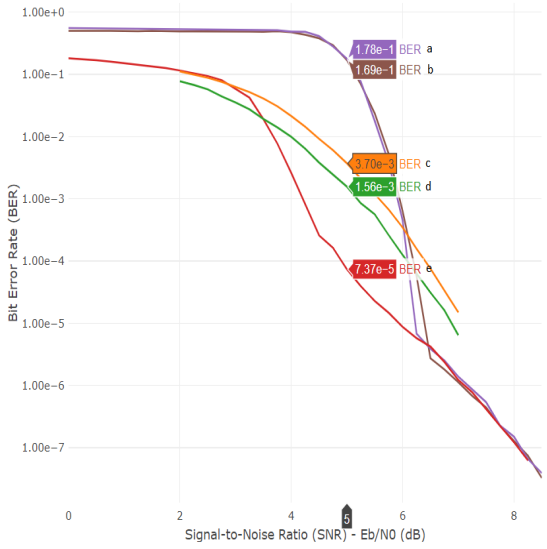


Рис.2 - Производительность BER моделирования AFF3CT:
a) LDPC (1008,504) Gallager B 200 ит., b) LDPC (1008,504) Gallager A 200 ит., c) LDPC (1008,504) WBF 100 ит., d) LDPC (1008,504) MWBF 0.2 100 ит., e) LDPC (1008,504) Gallager E 200 ит..

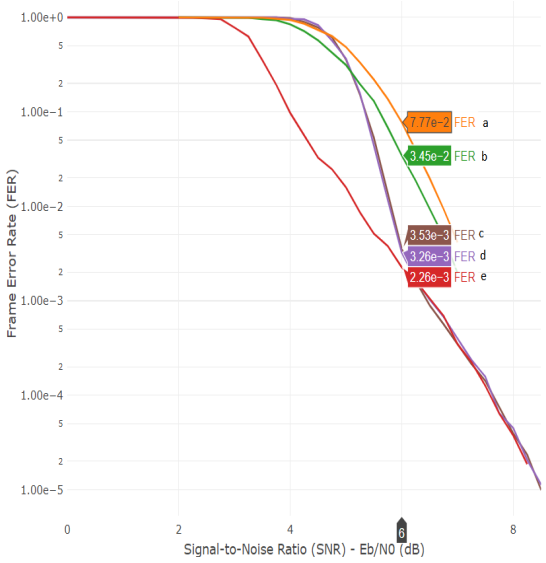


Рис.3 - Производительность FER моделирования AFF3CT:
a) LDPC (1008,504) WBF 100 ит., b) LDPC (1008,504) MWBF 0.2 100 ит., c) LDPC (1008,504) Gallager A 200 ит., d) LDPC (1008,504) Gallager B 200 ит., e) LDPC (1008,504) Gallager E 200 ит..

Частота ошибок в кадрах (FER). FER измеряет долю кадров, декодированных с ошибками, по отношению к общему количеству переданных кадров. Этот показатель важен для оценки стабильности передачи данных на уровне кадров [21].

Отношение сигнал/шум (SNR). SNR является критическим параметром, влияющим на производительность системы связи. Он измеряет уровень полезного сигнала относительно уровня шума и выражается в децибелах (dB) [22]. Высокие значения SNR указывают на более качественную передачу данных с меньшим количеством ошибок.

Для каждого кодера были проведены эксперименты с различными уровнями шума, и на основе полученных данных были построены графики зависимости BER и FER от отношения сигнал/шум (SNR). Результаты моделирования были проанализированы для определения наилучших алгоритмов декодирования LDPC в условиях канала AWGN.

Обсуждение и результаты. В ходе моделирования была получена сравнительная оценка производительности различных алгоритмов декодирования LDPC в канале AWGN. Ключевые показатели оценки включали частоту ошибок в битах (BER) и частоту ошибок в кадрах (FER), которые были измерены при различных уровнях отношения сигнал/шум (SNR). В таблицах и графиках ниже показана зависимость BER и FER от уровня шума для различных алгоритмов декодирования. Анализ этих данных позволяет нам определить наилучшие алгоритмы для использования в реальных системах связи.

Анализ представленных данных показывает, что алгоритм Gallager E продемонстрировал наилучшие результаты по вероятности битовой ошибки (BER) при низких уровнях отношения сигнал/шум (0–4 dB), однако при высоком уровне SNR (6 dB) его эффективность уступала алгоритмам Gallager B и MWBF. Алгоритм MWBF, в свою очередь, обеспечил стабильно хорошие показатели как по BER, так и по вероятности пакетной ошибки (FER) на всех уровнях SNR, особенно начиная с 2 dB и выше. Алгоритмы WBF и Gallager A показали наихудшие результаты по BER и FER на всех уровнях SNR по сравнению с Gallager E и MWBF. Алгоритм Gallager B проявил хорошие характеристики BER при высоких значениях SNR, однако на низких уровнях уступал MWBF и Gallager E. Учитывая проведённый анализ, можно сделать вывод, что декодер MWBF является наилучшим выбором для канала связи с длиной сообщения 1008 бит, поскольку он обеспечивает оптимальный баланс между характеристиками исправления ошибок (BER и FER) и устойчивостью к шумам (SNR).

Таблица 1 - Параметры моделирования канала связи AFF3CT, в котором используются LDPC декодеры с N = 1008

Параметры		LDPC (1008,504) Gallager A 200 ит.	LDPC (1008,504) Gallager B 200 ит.	LDPC (1008,504) Gallager E 200 ит.	LDPC (1008,504) MWBF 0.2 100 ит.	LDPC (1008,504) WBF 100 ит.
Моделирование	Тип кодирования	LDPC	LDPC	LDPC	LDPC	LDPC
	Диапазон шума	0 - 8.5 dB	0 - 8.5 dB	0 - 8.5 dB	2 - 7 dB	2 - 7 dB
	Тип шума	EBN0	EBN0	EBN0	EBN0	EBN0
	Многопоточность	4 поток	48 поток	48 поток	8 поток	8 поток
	Скорость передачи битов	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Источник	Тип	AZCW	AZCW	AZCW	RAND	RAND
Кодек	Тип	LDPC	LDPC	LDPC	LDPC	LDPC
	Размер бита (K)	504	504	504	504	504
	Размер кадра (N)	1008	1008	1008	1008	1008
	Скорость кодирования	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Кодер	Тип	AZCW	AZCW	AZCW	LDPC_H	LDPC_H
Декодер	Тип	BP_FLOODING	BP_FLOODING	BP_FLOODING	BIT_FLIPPING	BIT_FLIPPING
	Реализация	GALA	GALB	GALE	MWBF	WBF
	Количество итераций	200	200	200	100	100
Модем	Тип	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK
Канал	Тип	AWGN	AWGN	AWGN	AWGN	AWGN

Таблица 2 - Параметры моделирования канала связи AFF3CT, в котором используются LDPC декодеры с N = 20480

Параметры		LDPC (20480, 16384) GalA IRA 4/5 200it	LDPC (20480, 16384) GalB IRA 4/5 50it	LDPC (20480, 16384) GalE IRA 4/5 50it	LDPC (20480, 16384) PPBF IRA 4/5 10it.	LDPC (20480, 16384) PPBF IRA 4/5 50it
Моде-лирова-ние	Тип кодирования	LDPC	LDPC	LDPC	LDPC	LDPC
	Диапазон шума	7 - 10 dB	5 - 10 dB	4 - 7 dB	6 - 10 dB	0 - 8.5 dB
	Тип шума	EBN0	EBN0	EBN0	EBN0	EBN0
	Многопоточность	48 поток	48 поток	48 поток	8 поток	4 поток
	Скорость передачи битов	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Источник	Тип	RAND	RAND	RAND	RAND	RAND
Кодек	Тип	LDPC	LDPC	LDPC	LDPC	LDPC
	Размер бита (K)	16384	16384	16384	16384	16384
	Размер кадра (N)	20480	20480	20480	20480	20480
	Скорость кодирования	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Кодер	Тип	LDPC_IRA	LDPC_IRA	LDPC_IRA	LDPC_IRA	LDPC_IRA
Декодер	Тип	BP_FLOODING	BP_FLOODING	BP_FLOODING	BIT_FLIPPING	BIT_FLIPPING
	Реализация	GALA	GALB	GALE	PPBF	PPBF
	Количество итераций	200	50	50	10	50

Модем	Тип	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK
Канал	Тип	AWGN	AWGN	AWGN	AWGN	AWGN

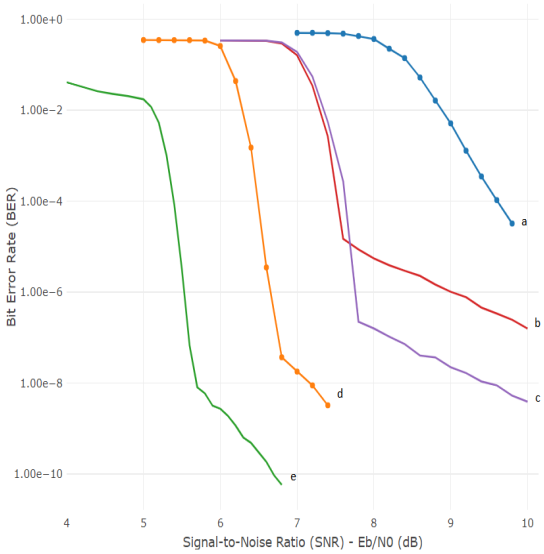


Рис.4 - Производительность BER моделирования AFF3CT: *a*) LDPC (20480,16384) GalA IRA 4/5 200ит., b) LDPC (20480,16384) PPBF IRA 4/5 10ит., c) LDPC (20480,16384) PPBF IRA 4/5 50ит., d) LDPC (20480,16384) GalB IRA 4/5 50ит., e) LDPC (20480,16384) GalE IRA 4/5 50 ит..

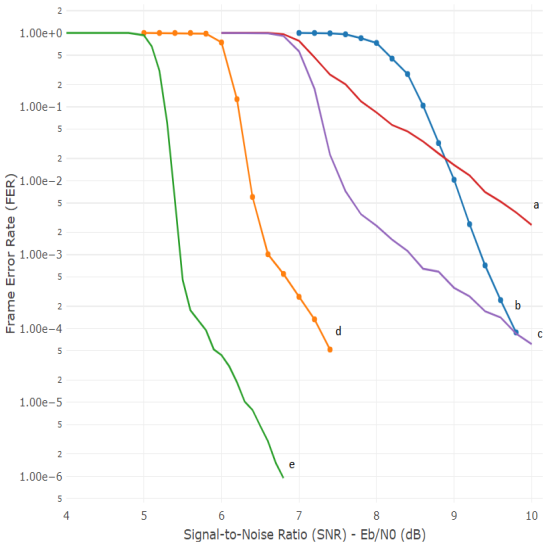


Рис.5 - Производительность FER моделирования AFF3CT: *a*) LDPC (20480,16384) GalA IRA 4/5 200ит., b) LDPC (20480,16384) PPBF IRA 4/5 10ит., c) LDPC (20480,16384) PPBF IRA 4/5 50ит., d) LDPC (20480,16384) GalB IRA 4/5 50ит., e) LDPC (20480,16384) GalE IRA 4/5 50ит..

Анализ данных показывает, что кодер GalE IRA 4/5 продемонстрировал наилучшие результаты по вероятности битовой и пакетной ошибок (BER и FER) на всех уровнях отношения сигнал/шум (SNR). Кодер PPBF IRA 4/5 с 50 итерациями показал хорошие характеристики, уступая GalE IRA 4/5, но превосходя остальные схемы. В то же время кодеры GalA IRA 4/5 и GalB IRA 4/5 показали худшие результаты по сравнению с GalE и PPBF, особенно при низких значениях SNR. Версия PPBF IRA 4/5 с 10 итерациями продемонстрировала высокие значения BER и FER при низком уровне SNR, что делает её менее предпочтительной для использования в условиях значительных шумов.

Выводы. Таким образом, для канала связи с длиной сообщения 20 480 бит наивысшую эффективность продемонстрировал алгоритм GalE IRE 4/5, обеспечивший низкую частоту ошибок и высокую устойчивость к шуму. Декодер GalE показал лучшие результаты по показателям битовой (BER) и кадровой (FER) ошибок на всех уровнях отношения сигнал/шум (SNR), что позволяет рассматривать его в качестве оптимального решения для систем передачи данных, функционирующих в условиях высокой помехоустойчивости. В то же время, в системах с ограниченными вычислительными ресурсами, где предпочтение отдаётся передаче более коротких сообщений, эффективным может быть использование канала с длиной сообщения 1008 бит. В данном сценарии целесообразно применение декодера MWBF, продемонстрировавшего стабильную производительность при сокращённой длине кода и ограниченных ресурсах декодирования.

В перспективе полученные результаты планируется использовать для сравнительного анализа с многопороговыми декодерами (Multi-Threshold Decoders, MTD), отличающимися низ-

кой вычислительной сложностью и высокой потенциальной эффективностью в энергозависимых и ресурсоограниченных системах. Особый интерес представляет реализация многопорогового декодирования с использованием технологии параллельных вычислений OpenCL, что, как ожидается, позволит существенно повысить производительность и обеспечить дополнительный прирост по показателям BER и FER по сравнению с традиционными LDPC-декодерами.

***Финансирование**. Исследование выполнено в рамках научно-исследовательской работы по проекту грантового финансирования при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19679505)*

Литература

1. Satybaldina D. Zh., Zolotarev V. V., Ovechkin G. V., Sailau kyzy Zh. New concatenation schemes based on the multithreshold decoders of convolutional self-orthogonal codes for gaussian channels // Eurasian journal of mathematical and computer applications. -2021. - Vol.9(4). - P.51-62. DOI 10.32523/2306-6172-2021-9-4-51-62.

2. Сайлауқызы Ж., Сатыбалдина Д.Ж., Аманов А.Н., Жакина М.М. Радиоарналар үшін таннер графын қолдану арқылы LDPC кодтарының қателерді түзету әсерін талдау // Информатика и прикладная математика: Мат. VIII Межд. науч. - практ. конф. (26-27 октября 2023 г). - Алматы. - 2023. - с.274. ISBN 978-601-332-165-3.

3. Zikry, A. H. A., Hassan, A. Y., Shaban, W. I., Abdel-Momen, S. F. (2021). Performance analysis of LDPC decoding techniques // International Journal of Recent Technology and Engineering. - 2021. - Vol.9(5). - P.17-26. DOI 10.35940/ijrte.E5067.019521.

4. Сайлауқызы Ж. LDPC кодері негізінде байланыс арнасындағы сигналдардың тұтастығын зерттеу // Журнал «Труды университета». - 2021. - № 4 (85). - С.339-343. DOI 10.52209/1609-1825_2021_4_339.

5. Усатюк В.С., Егоров С.И. Построение LDPC-кодов с использованием модифицированного метода выборки по значимости Коула // Известия Юго-Западного государственного университета. - 2023. - Vol.27(1). - P. 92–110 DOI 10.21869/2223-1560-2023-27-1-92-110.

6. Ouakili H. E., Touati H., Kadi A., Mehdaoui Y., Alami R. E. New low-density-parity-check decoding approach based on the hard and soft decisions algorithms // International Journal of Power Electronics and Drive Systems/International Journal of Electrical and Computer Engineering. - 2023. - Vol.13(2). - P.1639- 1646. DOI 10.11591/ijece.v13i2.

7. Le K., Ghaffari F., Kessal L., Declercq D., Boutillon E., Winstead C., Vasic B. A probabilistic parallel Bit-Flipping decoder for Low-Density Parity-Check codes // IEEE Transactions on Circuits and Systems. I, Regular Papers. - 2019. - Vol.66(1). - P.403–416. DOI 10.1109/tcsi.2018.2849679.

8. Guan W., Liang L. Check-Belief propagation decoding of LDPC code // IEEE Transactions on Communications. - 2023. - Vol.71(12). - P. 6849–6858. DOI 10.1109/tcomm.2023.3308155

9. Ziemer R. E., Tranter W. H. Principles of Communications. - 2014.-768 p. ISBN 978-1-118-07891-4.

10. Волхонская Е. В., Коротей Е. В., Власова К. В., Рушко М. В. Модельное исследование помехоустойчивости приема радиосигналов с QPSK, BPSK, 8psk и DBPSK // Известия КГТУ. - 2017. - № 46. - С.1-10.

11. Черноусов А. В. Анализ воздействия аддитивных помех на широкополосный сигнал // Решетневские чтения. - 2016. - № 20.- С.1-3 URL https://cyberleninka.ru

12. Cassagne A., Hartmann O., Léonardon M., He K., Leroux C., Tajan R., Aumage O., Barthou D.,

Tonnellier T., Pignoly V., Gal B. L., Jégo C. AFF3CT: A fast forward error correction toolbox // SoftwareX. - 2019. - Vol.10:100345. DOI 10.1016/j.softx.2019.100345

13. Guruswami V. Iterative decoding of Low-Density parity check codes // Bulletin of the European Association for Theoretical Computer Science. - 2006. - P.1-29. URL https://www.cs.cmu.edu

14. Rasheed O. A., Brkic S. S., Ivanis P. N., Vasic B. Performance analysis of faulty Gallager-B decoding of QC-LDPC codes // 21st Telecommunications Forum Telfor (TELFOR) – 2013. DOI 10.1109/telfor.2013.6716235.

15. Gal B. L., Pignoly V., Jego C. High-Performance Gallager-E decoders for hard input LDPC decoding on multi-core devices // In Lecture notes in computer science. - 2022. - P.3-15. DOI 10.1007/978-3-031-12748-9_1.

16. Le K., Ghaffari F., Declercq D., Vasic B., Winstead C. A novel high-throughput, low-complexity bit-flipping decoder for LDPC codes // International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC). - 2017. DOI 10.1109/atc.2017.8167601.

17. Kou Y., Lin S., Fossorier M. Low-density parity-check codes based on finite geometries: a rediscovery and new results // IEEE Transactions on Information Theory. - 2001. - Vol.47(7). - P.2711-2736. DOI 10.1109/18.959255

18. Zhang J., Fossorier M. A modified weighted Bit-Flipping decoding of Low-Density Parity-Check codes // IEEE Communications Letters. - 2004. - Vol.8(3). - P.165-167. DOI 10.1109/lcomm.2004.825737

19. Дубов М.А., Приоров А.Л. Методика неэталонной оценки отношения сигнал/шум и вероятности битовой ошибки для сигналов с квадратурной модуляцией // Цифровая обработка сигналов. -2012. -№ 4. - С.37-43.

20. Philip-Kpae F. O., Omijeh B. Bit Error Rate and Signal to Noise Ratio Performance Evaluation of OFDM System with QPSK and QAM M-array Modulation Scheme in Rayleigh, Rician and AWGN Channel Using MATLAB/Simulink // Innovative Systems Design and Engineering. - 2017. - Vol.8(4). - P.1–9. https://core.ac.uk.

21. Haddadi S., Farhang M., Derakhtian M. Low-complexity decoding of LDPC codes using reduced-set WBF-based algorithms // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. - 2020. - Vol.1:180 DOI 10.1186/s13638-020-01791-5.

22. Ong V. C. A., Welch B. W. Bit error rate and frame error rate data processing for space communications and navigation-related communication system analysis tools // National Aeronautics and Space Administration, Glenn Research Center. - 2019.- 20 p. URL https://ntrs.nasa.gov.

References

1. Satybaldina D. Zh., Zolotarev V. V., Ovechkin G. V., Sailau kyzy Zh. New concatenation schemes based on the multithreshold decoders of convolutional self-orthogonal codes for gaussian channels // Eurasian journal of mathematical and computer applications. -2021. - Vol.9(4). - P.51-62. DOI 10.32523/2306-6172-2021-9-4-51-62.

2. Sajlauқyzy Zh., Satybaldina D.Zh., Amanov A.N., Zhakina M.M. Radioarnalar үshin tanner grafyn қoldanu arқyly LDPC kodtarynyң қatelerdi tүzetu әserin taldau // Informatika i prikladnaja matematika: Mat. VIII Mezhd. nauch. - prakt. konf. (26-27 oktjabrja 2023 g). - Almaty. - 2023. - c.274. ISBN 978-601-332-165-3.[in Kazakh]

3. Zikry, A. H. A., Hassan, A. Y., Shaban, W. I., Abdel-Momen, S. F. (2021). Performance analysis of LDPC decoding techniques // International Journal of Recent Technology and Engineering. - 2021. -

Vol.9(5). - P.17-26. DOI 10.35940/ijrte.E5067.019521.

4. Sajlauқyzy Zh. LDPC koderi negizinde bajlanys arnasyndaғy signaldardyң tұtastyғyn zertteu // Zhurnal «Trudy universiteta». - 2021. - № 4 (85). - S.339-343. DOI 10.52209/1609-1825_2021_4_339. [in Kazakh]

5. Usatjuk V.S., Egorov S.I. Postroenie LDPC-kodov s ispol’ zovaniem modificirovannogo metoda vyborki po znachimosti Koula // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. - 2023. - Vol.27(1). - P.92–110 DOI 10.21869/2223-1560-2023-27-1-92-110.[in Russian]

6. Ouakili H. E., Touati H., Kadi A., Mehdaoui Y., Alami R. E. New low-density-parity-check decoding approach based on the hard and soft decisions algorithms // International Journal of Power Electronics and Drive Systems/International Journal of Electrical and Computer Engineering. - 2023. - Vol.13(2). - P.1639- 1646. DOI 10.11591/ijece.v13i2.

7. Le K., Ghaffari F., Kessal L., Declercq D., Boutillon E., Winstead C., Vasic B. A probabilistic parallel Bit-Flipping decoder for Low-Density Parity-Check codes // IEEE Transactions on Circuits and Systems. I, Regular Papers. - 2019. - Vol.66(1). - P.403–416. DOI 10.1109/tcsi.2018.2849679.

8. Guan W., Liang L. Check-Belief propagation decoding of LDPC code // IEEE Transactions on Communications. - 2023. - Vol.71(12). - P. 6849–6858. DOI 10.1109/tcomm.2023.3308155

9. Ziemer R. E., Tranter W. H. Principles of Communications. - 2014.-768 p. ISBN 978-1-118-07891-4.

10. Volhonskaja E. V., Korotej E. V., Vlasova K. V., Rushko M. V. Model’ noe issledovanie pomehoustojchivosti priema radiosignalov s QPSK, BPSK, 8psk i DBPSK // Izvestija KGTU. - 2017. - № 46. - C.1-10. [in Russian]

11. Chernousov A. V. Analiz vozdejstvija additivnyh pomeh na shirokopolosnyj signal // Reshetnevskie chtenija. - 2016. - № 20.- C. 1-3 URL https://cyberleninka.ru. [in Russian]

12. Cassagne A., Hartmann O., Léonardon M., He K., Leroux C., Tajan R., Aumage O., Barthou D., Tonnellier T., Pignoly V., Gal B. L., Jégo C. AFF3CT: A fast forward error correction toolbox // SoftwareX. - 2019. - Vol.10:100345. DOI https://doi.org/10.1016/j.softx.2019.100345

13. Guruswami V. Iterative decoding of Low-Density parity check codes // Bulletin of the European Association for Theoretical Computer Science. - 2006. - P.1-29. URL https://www.cs.cmu.edu

14. Rasheed O. A., Brkic S. S., Ivanis P. N., Vasic B. Performance analysis of faulty Gallager-B decoding of QC-LDPC codes // 21st Telecommunications Forum Telfor (TELFOR) – 2013. DOI 10.1109/telfor.2013.6716235.

15. Gal B. L., Pignoly V., Jego C. High-Performance Gallager-E decoders for hard input LDPC decoding on multi-core devices // In Lecture notes in computer science. - 2022. - P.3-15. DOI 10.1007/978-3-031-12748-9_1.

16. Le K., Ghaffari F., Declercq D., Vasic B., Winstead C. A novel high-throughput, low-complexity bit-flipping decoder for LDPC codes // International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC). - 2017. DOI 10.1109/atc.2017.8167601.

17. Kou Y., Lin S., Fossorier M. Low-density parity-check codes based on finite geometries: a rediscovery and new results // IEEE Transactions on Information Theory. - 2001. - Vol.47(7). - P.2711-2736. DOI 10.1109/18.959255

18. Zhang J., Fossorier M. A modified weighted Bit-Flipping decoding of Low-Density Parity-Check codes // IEEE Communications Letters. - 2004. - Vol.8(3). - P.165-167. DOI 10.1109/lcomm.2004.825737

19. Dubov M.A., Priorov A.L. Metodika nejetalonnoj ocenki otnoshenija signal/shum i verojatnosti bitovoj oshibki dlja signalov s kvadraturnoj moduljaciej // Cifrovaja obrabotka signalov. -2012. -№ 4.

- S.37-43. [in Russian]

20. Philip-Kpae F. O., Omijeh B. Bit Error Rate and Signal to Noise Ratio Performance Evaluation of OFDM System with QPSK and QAM M-array Modulation Scheme in Rayleigh, Rician and AWGN Channel Using MATLAB/Simulink // Innovative Systems Design and Engineering. - 2017. - Vol.8(4). - P.1–9. https://core.ac.uk/download/pdf/234644027.pdf.

21. Haddadi S., Farhang M., Derakhtian M. Low-complexity decoding of LDPC codes using reduced-set WBF-based algorithms // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. - 2020. - Vol.1:180 DOI 10.1186/s13638-020-01791-5.

22. Ong V. C. A., Welch B. W. Bit error rate and frame error rate data processing for space communications and navigation-related communication system analysis tools // National Aeronautics and Space Administration, Glenn Research Center. - 2019.- 20 p. URL https://ntrs.nasa.gov.

Сведения об авторов

Жакина М.М. - Магистрант 2-го курса, Карагандинский Технический Университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: m.zhakina@bk.ru;

Сайлаукызы Ж.- PhD, и.о. доцента, Карагандинский Технический Университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: zhuldyzsailaukyzy@gmail.com;

Рысбекқызы Б.- PhD, и.о. доцента, Карагандинский Технический Университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: bakhytgulz@mail.ru;

Эгамбердиев Э.У. – директор ТОО «Adal damu», Астана, Казахстан, e-mail: eeldoru@gmail.com;

Аманов А.Н. - Магистрант 2-го курса,Карагандинский Технический Университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: a.taimagambetov@bk.ru.

Information about the authors

Zhakina M.M. – 2nd year master’s student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: m.zhakina@bk.ru;

Saylaukyzy Zh.- PhD, acting associate professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: zhuldyzsailaukyzy@gmail.com;

Rysbekkyzy B.- PhD, acting associate professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: bakhytgulz@mail.ru;

Egamberdiev E.U.- Director LLP «Adal damu», Astana, Kazakhstan, e-mail: eeldoru@gmail.com;

Amanov A.N. - 2nd year master’s student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: a.taimagambetov@bk.ru.

МРНТИ 28.17.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1192**

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ВОДОЕМАХ КАЗАХСТАНА

[1,2]Т.Ж. Мазаков, [1]Ш.А. Джомартова✉, [1]А.Т. Мазакова, [3]А.Д. Майлыбаева, [4]Б.М. Мазакова, [2]М.С. Алиаскар, [1]Е.К. Мергенгали

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2]Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан,
[3]Атырауский университет им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан,
[4]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан
✉*Корреспондент-автор: jomart63@gmail.com*

Изменение климата, рост населения и увеличение антропогенного давления на природные ресурсы требуют разработки эффективных инструментов управления водными ресурсами.

Гидрологический мониторинг играет ключевую роль в управлении водными ресурсами, прогнозировании паводков, оценке качества воды и обеспечении устойчивого развития регионов. Традиционные методы хранения информации о водоёмах (бумажные архивы, разрозненные электронные таблицы) не позволяют эффективно обрабатывать большие объёмы данных и обеспечивать их доступность для анализа. В этой связи создание специализированной гидрологической базы данных, интегрирующей данные о водоёмах, климатических условиях, стоке и антропогенной нагрузке, является актуальной задачей.

Цель работы состоит в разработке модели и прототипа гидрологической базы данных для хранения, систематизации и анализа информации о водоёмах.

В данной работе представлена гидрологическая база данных, позволяющая осуществлять мониторинг водоемов в реальном времени, получать оперативный прогноз гидрологической ситуации и способная оценивать последствия селевых прорывов. Разработанная система базируется на методах математического моделирования.

Для внедрения системы в практику создано программное обеспечение на СУБД Visual FoxPro 9. Проведенные эксперименты показали, что модель достоверно отражает реальные условия и может успешно применяться в различных сценариях.

Практическая значимость разработки заключается в возможности использования базы данных в научных исследованиях, государственном управлении водными ресурсами, экологическом мониторинге и образовательных целях.

Ключевые слова: водоем, гидрологическая база данных, математическая модель, мониторинг, СУБД, прогнозирование.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ СУ ОБЪЕКТТЕРІНДЕГІ ГИДРОЛОГИЯЛЫҚ ЖАҒДАЙДЫ БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ

[1,2]Т.Ж. Мазаков, [1]Ш.А. Джомартова✉, [1]Ә.Т. Мазақова, [3]А.Д. Майлыбаева, [4]Б.М. Мазакова, [2]М.С. Әлиасқар, [1]Е.Қ. Мергенғали

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,
[3]Kh. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан,
[4]S. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: jomart63@gmail.com

Климаттың өзгеруі, халық санының өсуі және табиғи ресурстарға антропогендік қысымның артуы су ресурстарын басқарудың тиімді құралдарын әзірлеуді талап етеді.

Гидрологиялық мониторинг су ресурстарын басқаруда, су тасқынын болжауда, су сапасын бағалауда және тұрақты аймақтық дамуда маңызды рөл атқарады. Су объектілері туралы ақпаратты сақтаудың дәстүрлі әдістері (қағаз мұрағаттар, жеке электрондық кестелер) деректердің үлкен көлемін тиімді өңдеуге және олардың талдауға қолжетімді болуына мүмкіндік бермейді. Осыған байланысты су объектілері, климаттық жағдайлар, ағын сулар және антропогендік жүктемелер туралы мәліметтерді біріктіретін мамандандырылған гидрологиялық мәліметтер базасын құру кезек күттірмейтін міндет болып табылады.

Жұмыстың мақсаты су объектілері туралы ақпаратты сақтауға, жүйелеуге және талдауға арналған гидрологиялық деректер базасының үлгісі мен прототипін жасау болып табылады.

Бұл жұмыс нақты уақыт режимінде су объектілерін бақылауға, гидрологиялық жағдайдың жедел болжамын алуға мүмкіндік беретін және сел салдарын бағалауға қабілетті гидрологиялық мәліметтер базасын ұсынады. Әзірленген жүйе математикалық модельдеу әдістеріне негізделген.

Жүйені тәжірибеге енгізу үшін Visual FoxPro 9 ДҚБЖ бағдарламалық жасақтамасы жасалды. Тәжірибелер модель нақты жағдайларды сенімді түрде көрсететінін және әртүрлі сценарийлерде сәтті қолданылуы мүмкін екенін көрсетті.

Әзірлеудің практикалық маңыздылығы мәліметтер базасын ғылыми зерттеулерде, су ресурстарын мемлекеттік басқаруда, қоршаған ортаны бақылауда және білім беру мақсаттарында пайдалану мүмкіндігінде жатыр.

Түйін сөздер: су қоймасы, гидрологиялық деректер қоры, математикалық модель, мониторинг, ДҚБЖ, болжау.

MONITORING AND FORECASTING THE HYDROLOGICAL SITUATION IN WATER BODIES OF KAZAKHSTAN

[1,2]T.Zh. Mazakov, [1]Sh.A. Jomartova✉, [1]A.T. Mazakova, [3]A.D. Mailybaeva, [4]B.M. Mazakova, [2]M.S. Aliaskar, [1]E.K. Mergengali

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[2]International University of Engineering and Technology, Almaty, Kazakhstan,
[3]Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan,
[4]S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: jomart63@gmail.com

Climate change, population growth and increasing anthropogenic pressure on natural resources require the development of effective water resources management tools.

Hydrological monitoring plays a key role in water resources management, flood forecasting, water quality assessment and sustainable regional development. Traditional methods of storing information about water bodies (paper archives, separate spreadsheets) do not allow for efficient processing of large volumes of data and their availability for analysis. In this regard, the creation of a specialized hydrological database integrating data on water bodies, climate conditions, runoff and anthropogenic load is an urgent task.

The purpose of the work is to develop a model and prototype of a hydrological database for storing, systematizing and analyzing information about water bodies.

This work presents a hydrological database that allows monitoring water bodies in real time, obtaining an operational forecast of the hydrological situation and is capable of assessing the consequences of mudflows. The developed system is based on mathematical modeling methods.

To implement the system into practice, software was created on the Visual FoxPro 9 DBMS. The experiments showed that the model reliably reflects real conditions and can be successfully applied in various scenarios.

The practical significance of the development lies in the possibility of using the database in scientific research, state management of water resources, environmental monitoring and educational purposes.

Keywords: reservoir, hydrological database, mathematical model, monitoring, DBMS, forecasting.

Введение. За последние сто лет человечество не раз становилось свидетелем катастроф, вызванных разрушением гидротехнических объектов, влекущих за собой многочисленные человеческие жертвы и серьёзные экономические убытки.

Проблема надёжности гидротехнических сооружений и предотвращения их аварий является одной из ключевых в области водного хозяйства и инженерной гидрологии. Зарубежная и отечественная практика демонстрирует широкий спектр аварийных ситуаций, обусловленных как природными, так и техногенными факторами, что нашло отражение в многочисленных исследованиях [1-3].

Исторический анализ показывает, что крупные катастрофы на плотинах фиксировались с конца XIX века. Одной из первых широко известных трагедий стал прорыв земляной плотины Саут-Форк в США (Пенсильвания, 1889 г.), в результате которого погибло около 2200 человек и был разрушен город Джонстаун.

В дальнейшем аналогичные катастрофы повторялись в разных странах: обрушение арочно-гравитационной плотины Глено в Италии (1923 г., 356 жертв), разрушение гравитационной плотины Сан-Франсис в Калифорнии (1928 г., свыше 1000 жертв), а также авария на арочной плотине Мальпассе во Франции (1959 г., 421 жертва). Эти случаи послужили основанием для активизации исследований в области устойчивости плотин к гидродинамическим и геотехническим воздействиям [4,5].

В XX веке особое внимание привлекли катастрофы, обусловленные природными явлениями. Так, оползень во впадине Вайонт (Италия, 1963 г.) вызвал волну высотой до 70 м, что привело к гибели 1900–2500 человек. Тайфун «Нина» (КНР, 1975 г.) стал причиной разрушения плотины Банцяо и гибели около 26 тыс. человек. В ряде случаев катастрофы имели место на относительно небольших сооружениях, например, прорыв водохранилища Келли-Барнс в США (1977 г., 39 жертв) и разрушение плотины Морби в Индии (1979 г., 1800–25000 жертв). Эти события демонстрируют зависимость устойчивости плотин от климатических условий и экстремальных гидрометеорологических нагрузок [6,7].

В XXI веке аварии на гидротехнических сооружениях продолжают происходить, включая прорыв ирригационной плотины Зейзун в Сирии (2002 г.), разрушение городской дамбы Ситу-Гинтунг в Индонезии (2009 г., 99 жертв), а также повреждение водохранилища Фудзинума в Японии вследствие землетрясения Тохоку (2011 г.). Особый интерес исследователей вызывают аварии хвостохранилищ, так как они помимо жертв сопровождаются масштабным загрязнением окружающей среды (Rico et al., 2008). Наиболее значимые примеры – аварии в Бразилии: Марьяна (2015 г., 19 жертв) и Брумадинью (2019 г., 270 жертв).

Последние годы характеризуются ростом числа катастроф, связанных как с техногенными, так и с военными факторами. Так, разрушение плотины Каховской ГЭС на Украине (2023 г.) привело к масштабному затоплению нижнего Днепра и серьёзным эколого-социальным последствиям. В том же году фиксировались катастрофы в Ливии (обрушение плотины Дерна после шторма «Даниэль», до 5900 жертв) и в Индии (Сикким, прорыв ледникового озера, сотни погибших). Эти примеры указывают на необходимость интеграции систем раннего предупреждения, климатической адаптации и учёта рисков военных действий при управлении гидротехнической инфраструктурой [8].

В Казахстане за последние пятнадцать лет также имели место аварии на водохранилищах. Наиболее тяжёлой стала катастрофа Кызылагашского водохранилища [9,10], унёсшая жизни 43-45 человек. В 2014 году в Карагандинской области в результате прорыва Кокпектинского водохранилища погибло пять человек и было по-

вреждено несколько сотен домов [11,12]. В 2015 году авария на дамбе в селе Жумабек сопровождалась подтоплением, однако без человеческих жертв. В 2020 году прорыв Сардобинского водохранилища в Узбекистане вызвал массовую эвакуацию и затопление населённых пунктов в Мактааральском районе Туркестанской области Казахстана [13,14].

Таким образом, анализ мировой и отечественной практики свидетельствует о высокой частоте и масштабности аварий гидротехнических сооружений, обусловленных как техногенными, так и природными факторами. Современные исследования акцентируют внимание на необходимости системного подхода к оценке рисков, совершенствованию мониторинга, применению геоинформационных технологий и разработке программ адаптации к изменяющимся климатическим и антропогенным условиям эксплуатации гидротехнических объектов.

Современные системы мониторинга для выявления риска проявления чрезвычайных ситуаций должны обеспечивать непрерывное отслеживание природных и техногенных процессов. Для этого требуется интеграция различных общегосударственных интеллектуальных, информационных и технологических ресурсов. Для разработки мониторинговых систем требуется проведение математического моделирования различных гидротехнических, экономических и климатических процессовей, способных в реальном времени определять объем водоема и прогнозировать срок его заполнения до уровня гребня плотины. Такие сведения имеют ключевое значение для своевременного оповещения населения и принятия мер органами власти по обеспечению экологической и техногенной безопасности [15-17].

Таким образом, разработка и внедрение систем, основанных на математическом моделировании процессов разрушения плотин, сохраняет высокую научную и практическую значимость.

В Казахстане насчитывается 1665 гидротехнических сооружений, включая 319 водохранилищ объемом более 1,0 млн м³. Из них в республиканской собственности находится 83 объекта, в коммунальной - 200, в частной - 34, а 60 водохранилищ являются бесхозяйными. Среди 443 плотин 32 находятся в республиканской собственности, 346 – в коммунальной, 45- в частной, а 20 остаются бесхозяйными. Также эксплуатируются 125 дамб и 778 других гидротехнических сооружений.

Среди крупных водохранилищ выделяются Астанинское (1970 г., объем 410,9 млн м³), Селетинское (1965 г., 230 млн м³), Каргалинское (1975 г., 280 млн м³), Бартогайское (1982 г., 320 млн м³), Капшагайское (1970 г., 18 560 млн м³), Терс-Ащибулакское (1963 г., 158,6 млн м³), Тасоткельское (1974 г., 620 млн м³), Самаркандское (1939 г., 253,7 млн м³), Верхне-Тобольское (1972 г., 816,6 млн м³), Каратомарское (1965 г., 586 млн м³), Бугуньское (1967 г., 370 млн м³) и другие.

Большинство водохранилищ и гидроузлов (около 60%) находятся в коммунальной собственности, в том числе на балансе Казводхоза, а около 20% объектов принадлежат отделам сельского хозяйства акиматов. Эта ситуация указывает на нерешенность вопроса об окончательной принадлежности данных объектов. В течение последних 10-15 лет около 20% водохранилищ были переданы в аренду частным лицам, преимущественно для нужд сельского хозяйства, рыбоводства и рекреации. Однако только в отдельных случаях аренда приносит положительные результаты, поскольку частным арендаторам часто не хватает средств для ремонта ключевых сооружений [18].

Материалы и методы. Для разработки гидрологической базы данных нужно решить следующие задачи:

1. Определить основные источники гидрологических данных.

2. Определить ключевые параметры водоёмов и форматы их хранения.

3. Определить СУБД для разработки гидрологической базы данных.

4. Разработать архитектуру гидрологической базы данных.

5. Разработать математическую модель, свя-

зывающие параметры водоема, для мониторинга и прогнозирования гидрологической ситуации в водоеме.

6. Разработать формы представления выходной информации.

7. Обеспечить возможность визуализации представления выходных данных.

Для реализации выбрана Visual FoxPro 9.

Архитектура гидрологической базы данных включает: 1) централизованная база с таблицами и связями; 2) модуль ввода, обеспечивающий автоматический импорт из внешних источников или ручной ввод входных данных; 3) модуль обработки, вычисляющий показатели гидрологической ситуации и 4) модуль визуализации обеспечивающий процесс визуализации, т.е. представление данных в виде графиков, карт и диаграмм.

Для обеспечения аналитических возможностей базы данных разработаны модули обработки:

- Расчёт водного баланса на основе данных о притоке, стоке, осадках и испарении;

- Интерполяция и экстраполяция данных с метеостанций для построения карт распределения осадков и температуры;

- Анализ временных рядов (скользящее среднее, трендовый анализ, сезонность) для прогнозирования гидрологических параметров;

- Классификация водоёмов по экологическому состоянию на основе интегральных индексов качества воды.

Для загрузки данных реализован модуль автоматизированного импорта (CSV, Excel, API). Для визуализации предусмотрено два подхода:

- построение графиков и диаграмм (уровень воды, температура, расход по времени);

- пространственная визуализация с помощью ГИС (карты водоёмов с наложением гидрологических показателей).

Результаты и обсуждение. Для построения модели введён ряд параметров и обозначений [19], включающих временные шаги, геометрические размеры по основанию и гребню плотины, а также площади и объёмы на различных уровнях водоёма. Важными переменными являются высоты и ширины прорана, текущий объём поступившей и вытекшей воды, а также динамика изменений уровня воды.

Таблица Vodoem.dbf состоит из полей, представленных в таблице 1.

Таблица 1 - Структура файла Vodoem.dbf

№	Наименование	Тип	Ширина поля		Ед. изм.	Назначение
			Целая часть	Дробная часть		
1	Kodv	Character	3			Код водоема
2	Nazv	Character	50			Наименование водоема
3	Typv	Numeric	1	0		Тип водоема
4	Hp	Numeric	10	2	м	Высота плотины
5	Lp	Numeric	10	2	м	Длина плотины
5	W0	Numeric	10	2	м	Ширина водоема по основанию
6	W1	Numeric	10	2	м	Ширина водоема по уровню гребня плотины
7	Gs	Numeric	10	2	м	Средняя глубина водоема
8	Gm	Numeric	10	2	м	Максимальная глубина водоема

9	L0	Numeric	10	2	м	Длина водоема по основанию плотины
10	L1	Numeric	10	2	м	Длина водоема по уровню гребня плотины
11	S0	Numeric	15	2	м2	Площадь водоема по основанию плотины
12	S1	Numeric	15	2	м2	Площадь водоема по уровню гребня плотины
13	V0	Numeric	15	2	м3	Объем водоема по основанию плотины
14	V1	Numeric	15	2	м3	Объема водоема по уровню гребня плотины
15	Kord1	Numeric	10	2	град	Широта цента водоема
16	Kord2	Numeric	10	2	град	Долгота центра водоема

Таблица VodTek.dbf из полей, представленных в таблице 2.

Таблица 2 - Структура файла VodTek.dbf

№	Наименование	Тип	Ширина поля		Ед. изм.	Назначение
			Целая часть	Дробная часть		
1	Kodv	Character	3			Код водоема
2	DatTimv	DateTime				Дата и время события
3	H1	Numeric	10	2	м	расстояние от гребня плотины до поверхности воды
4	H2	Numeric	10	2	м	расстояние от поверхности воды до верхней точки прорана в плотине
5	Hpr	Numeric	10	2	м	высота прорана в плотине
6	Wpr	Numeric	10	2	м	ширина прорана в плотине

В модуле обработки для выбранного водоема определяются следующие данные из таблицы 1, которые являются постоянными.

ω_0, l_0, S_0 - ширина и площадь водоема по основанию;

ω_1, l_1, S_1 - ширина и площадь водоема по уровню гребня плотины;

h_0 - высота плотины;

ΔT - временной шаг отсчета (в часах);

ω_2, l_2, S_2 - ширина и площадь водоема по поверхности воды;

ω_3, S_3 – ширина и площадь водоема по верхней точки прорана в плотине;

V_0 - общий объем водоема;

V_1 - незаполненный объем водоема;

V_2 - объем водоема от поверхности воды до верхней точки прорана в плотине;

V_3 - объем водоема от нижней до верхней точ-

ки прорана в плотине;

ΔV_1 - объем воды, поступившей в водоем за время ΔT;

ΔV_2 - объем воды, вытекший из водоема за время ΔT;

ΔV - разница между объемами вытекшей и поступившей воды за время ΔT;

h_1 - расстояние от гребня плотины до поверхности воды;

h_2 - расстояние от поверхности воды до верхней точки прорана в плотине;

h_{pr} - высота прорана в плотине;

ω_{pr} - ширина прорана в плотине.

Так как параметры, выбранные из таблицы 1, являются постоянными, а парметры, выбранные из таблицы 2 являются переменными, то для последних введем индекс *k*, обозначающий значение соответствующего параметра в момент времени T_k.

Тогда справедливы формулы

$$h_0 - h_{pr} = h_{1,k} + h_{2,k}, V_0 - V_3 = V_{1,k} + V_{2,k} \quad (1)$$

Ширина водоема по верхней точки прорана в плотине могут быть вычислена по формуле

$$\omega_3 = (\omega_1 \cdot h_0 + (\omega_0 - \omega_1) \cdot (h_0 - h_{pr}))/h_0 \quad (2)$$

Площади поверхностей S_0, S_1 S_3 также являются неизменными и могут быть вычислены:

$$S_i = l_i \cdot \omega_i, \quad i = 0, 1, 3 \quad (3)$$

Следовательно могут быть вычислены некоторые объемы

$$\begin{aligned} V_0 &= (1/3) \cdot h_0 \cdot \left(S_1 + \sqrt{S_1 \cdot S_0} + S_0\right) \\ V_3 &= (1/3) \cdot h_{pr} \cdot \left(S_0 + \sqrt{S_0 \cdot S_3} + S_3\right) \end{aligned} \quad (4)$$

Так как расстояние до поверхности воды изменяется во времени, то ширина и площадь водоема, а также некоторые изменяемые объемы на уровне поверхности воды в момент времени T_k могут быть вычислены по формулам

$$\begin{aligned} \omega_{2,k} &= \frac{\omega_1 \cdot h_0 + (\omega_0 - \omega_1) \cdot h_{1,k}}{h_0} \\ S_{2,k} &= l \cdot \omega_{2,k} \\ V_{1,k} &= \frac{1}{3} \cdot h_{1,k} \cdot \left(S_1 + \sqrt{S_1 \cdot S_{2,k}} + S_{2,k}\right) \\ V_{2,k} &= \frac{1}{3} \cdot h_{2,k} \cdot \left(S_{2,k} + \sqrt{S_{2,k} \cdot S_3} + S_3\right) \end{aligned} \quad (5)$$

$\Delta V_{2,k}$ – объем воды, вытекший из водоема за время ΔT может быть вычислен в соответствии с гидравлическим законом Торричелли по формуле

$$\Delta V_{2,k} = Q \cdot \Delta T = h_{pr} \cdot \omega_{pr} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{2,k}} \quad (6)$$

Обозначим через $\Delta V_k = \Delta V_{2,k} - \Delta V_1$ разницу между вытекшей и прибывшей водой в водоем. Тогда справедливы следующие соотношения

$$\begin{aligned} V_{1,k+1} &= V_{1,k} + \Delta V_k \\ V_{2,k+1} &= V_{2,k} - \Delta V_k \end{aligned} \quad (7)$$

Кроме того, информативным является вычисляемый параметр Δh_k – высота, на которую ожидается опускание воды за последующий интервал времени.

Введем обозначения:

$$x = \Delta h_k$$

Тогда ширина водоема на уровне роверхности в последующий момент времени $T_{k+1} = T_k + \Delta T$ может быть вычислена

$$\begin{aligned} \omega_x &= \frac{\omega_1 \cdot h_0 + (\omega_0 - \omega_1) \cdot (h_1 + x)}{h_0} \\ S_x &= l \cdot \omega_x \end{aligned} \quad (8)$$

Тогда ожидаемый расход воды x за последующий период времени находится из решения следующего нелинейного уравнения уравнения

$$x \cdot \left(S_2 + \sqrt{S_2 \cdot S_x} + S_x\right) = 3 \cdot \Delta V \quad (9)$$

Для программной реализации предложенной модели выбрано СУБД Visual FoxPro 9.

При вызове программы появляется заставка, приведенная на рисунке 1.

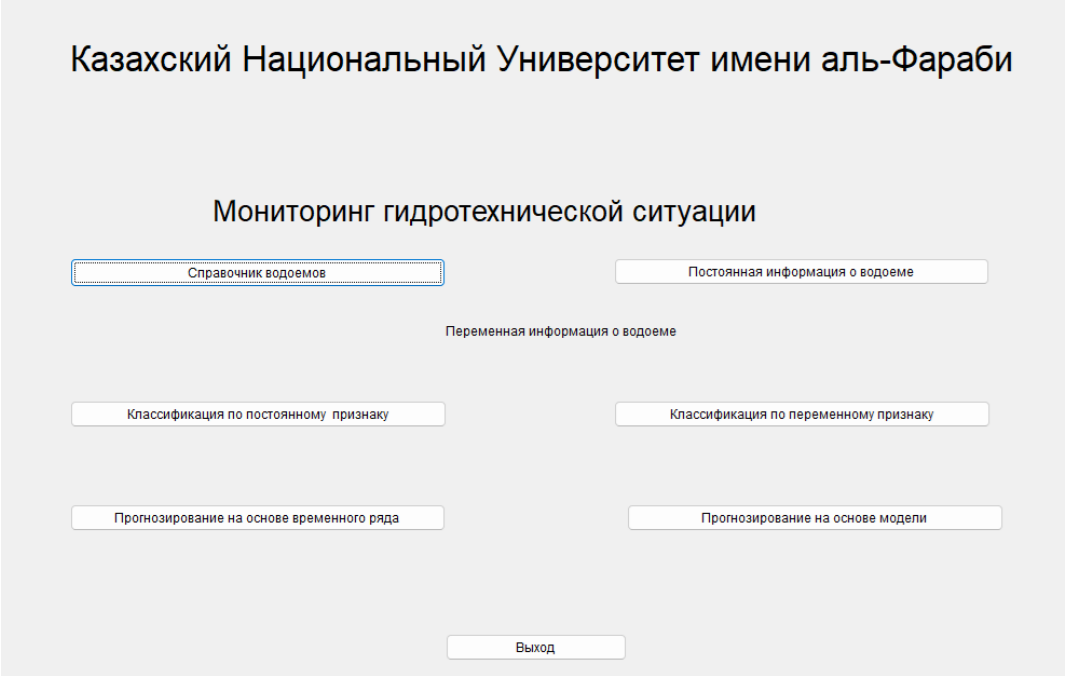


Рис.1 - Головная заставка

При вызове справочника появляется информация о водоемах (Рисунок 2)

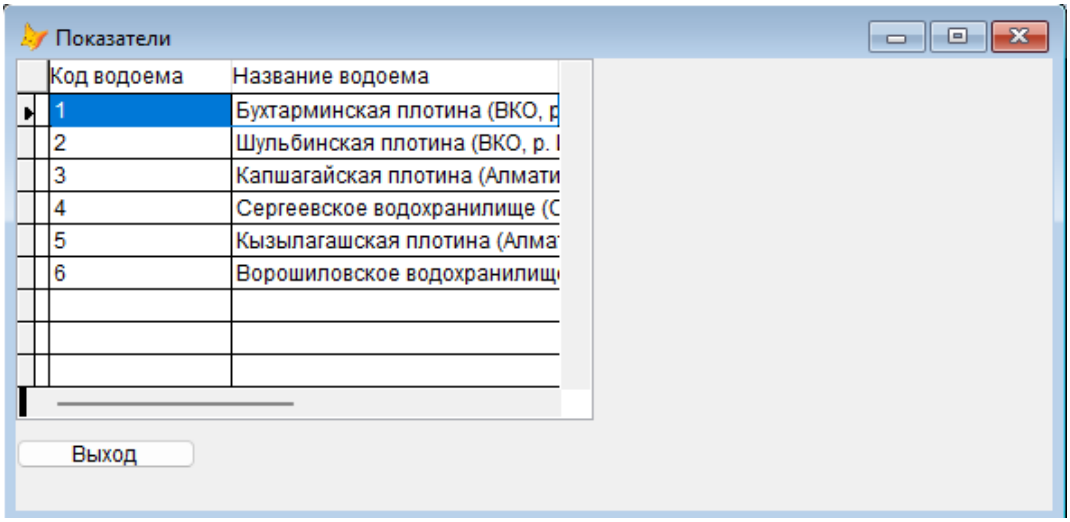


Рис.2 - Перечень водоемов

На основе разработанной программной модели, реализованной в автоматизированной системе, смоделировано развитие событий в селе Кызылагаш. Согласно данным Алматинского де-

партамента по чрезвычайным ситуациям, катастрофа произошла из-за интенсивных осадков и резкого потепления, что вызвало таяние снега и движение льда, приведшее к формированию селевого потока.

Ситуация, развившаяся в селе Кызылагаш, была смоделирована с использованием программы и представлена на рисунке 3.

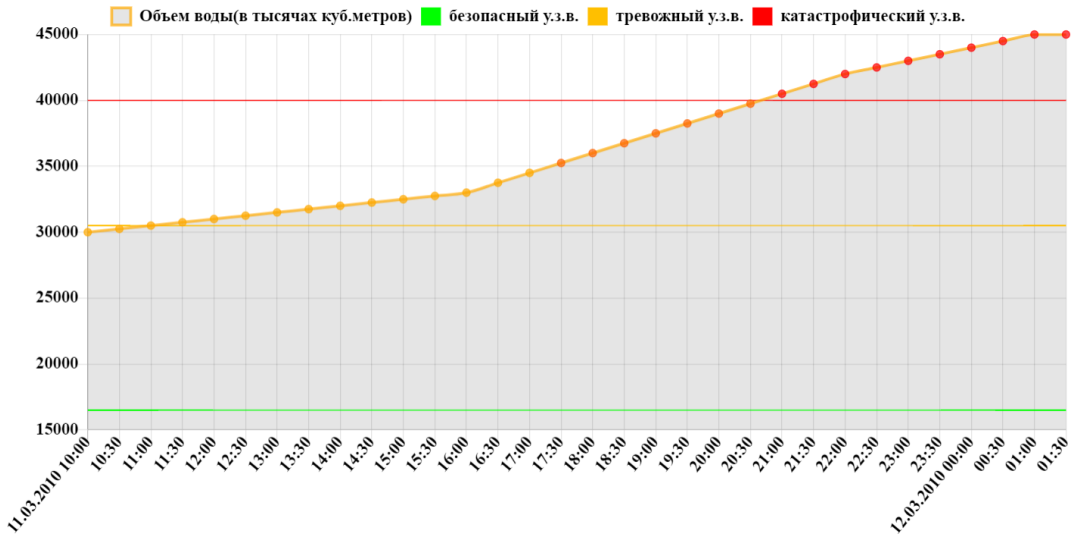


Рис.3 - График заполнения водоема в с.Кызылагаш

Выводы. В рамках проведенного исследования достигнуты следующие результаты:

- Разработана математическая модель для прогнозирования гигрологической ситуации в водоеме. Разработан алгоритм расчета ожидаемого притока и расхода воды, учитывающий различные параметры гидротехнического сооружения. Предложенный подход отличается высокой практической значимостью по сравнению с существующими методами.

- На СУБД Visual FoxPro разработана система мониторинга и прогнозирования гидрологической ситуации в водоеме.

- На основе решения модельной задачи подтверждена эффективность разработанной гидрологической базы данных.

Полученные результаты могут быть использованы для поддержки принятия решений в органах управления водохозяйственной отрасли Казахстана. Предложенные методика и технологии обеспечивают качественно новый подход к задачам мониторинга водных ресурсов, выявлению явлений, способствующих чрезвычайным ситуациям, и оценке их последствий.

В дальнейшем планируется интегрировать базу данных с геоинформационной системой MapInfo.

Финансирование. *Работа выполнена за счет средств НИИ математики и механики при КазНУ имени аль-Фараби и грантового финансирования научных исследований на 2023-2025 годы по проекту AP19678157.*

Литература

1. Costa J.E. Floods from Dam Failures.// Denver,.-U.S. Geological Survey, Open-File Report. – 1985.- 54 p.

2. Petley D. Landslides and engineered slopes: protecting society through improved understanding // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. - 2010.- Vol.69(2).- - P.155-167.

3. Rico M., Benito G., Díez-Herrero A. Floods from tailings dam failures // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – Vol.154(1-3).- P. 79–87. DOI 10.1016/j.jhazmat.2007.09.110

4. Chandler R.J. Slope Stability Engineering. - London: Institution of Civil Engineers, 1994. – 444 p.ISBN 10 0060799234

5. Fell R., MacGregor P., Stapledon D., Bell G. Geotechnical Engineering of Dams. – London: Taylor & Francis, 2014.- 1382 p. ISBN: 9780429220609

6. International Commission on Large Dams (ICOLD). Dam Failures Statistical Analysis. – Paris: ICOLD, Bulletin 99, 1995. https://www.icold-cigb.org Date of access: 17.04.2025

7. Xu Y., Zhang L., Zhang L. Lessons from Catastrophic Dam Failures in August 1975 in Zhumadian, China // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2012. - Vol.31. - P.113-125. DOI 10.1061/40971(310)20

8. Schweckendiek T., Vrouwenvelder A., Calle E.O.F. Flood risk management and safety of dams and levees in a changing climate // Water. - 2020.-Vol.12(7): 2075.

9. Прорыв плотины в Кызылагаше // Wikipedia: свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org Дата обращения: 17.04.2025.

10.2010 год: ОБСЕ, лидер нации и наводнение в Кызылагаше // Tengrinews [Электронный ресурс]. - URL: https://tengrinews.kz Дата обращения: 17.04.2025.

11. Прорыв плотины Кокпектинского водохранилища // CAWater-info [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cawater-info.net Дата обращения: 21.04.2025.

12. Кто же виноват в прорыве Кокпектинской плотины? // Zona.kz [Электронный ресурс]. – URL: https://zonakz.net Дата обращения: 21.04.2025.

13. Сардобинское водохранилище // Wikipedia : свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: https://ru.wikipedia.org Дата обращения: 03.05.2025.

14. В Узбекистане восстановят Сардобинское водохранилище, прорыв дамбы которого стал причиной наводнения в РК // Informburo.kz [Электронный ресурс]. – URL: https://informburo.kz Дата обращения: 03.05.2025.

15. Хамутова М.В., Кушников В.А. Математическая модель прогнозирования последствий наводнений//Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия управление, вычисл. техн. информ., 2016.- № 3. - С.109-114.

16. Симагин И.М., Полуян Л.В. Моделирование зон возможных затоплений при авариях на гидротехнических сооружениях. SAFETY2018. – Екатеринбург, 2018. – С.14-21.

17. Стриганова М.Ю. Методы оценки и прогнозирование последствий при разрушении гидротехнических сооружений // Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Белорусь, 2012, № 1(15). – С.10-21.

18. Плеханов П.А. Гидрологические риски природного характера и их предупреждение в Казахстане // Центрально-азиатский журнал исследований воды. Специальный выпуск об опасностях, связанных с водой в Центральной Азии. – Алматы, 2017, № 3(1). – С.19-25.

19. Мазаков Т.Ж., Джомартова Ш.А., Мазакова А.Т., Шорманов Т.С., Алиаскар М.С. Гибридная модель прогнозирования процесса селевого прорыва // Вестник КазУТБ. - Астана, 2024. – № 2(23). – С.120-126 DOI 10.58805/kazutb.v.2.23-481

References

1. Costa J.E. Floods from Dam Failures.// Denver,.-U.S. Geological Survey, Open-File Report. – 1985.- 54 p.

2. Petley D. Landslides and engineered slopes: protecting society through improved understanding // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. - 2010.- Vol.69(2).- P.155-167.

3. Rico M., Benito G., Díez-Herrero A. Floods from tailings dam failures // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – Vol.154(1-3).- P. 79–87. DOI 10.1016/j.jhazmat.2007.09.110

4. Chandler R.J. Slope Stability Engineering. - London: Institution of Civil Engineers, 1994. – 444 p. ISBN 10 0060799234

5. Fell R., MacGregor P., Stapledon D., Bell G. Geotechnical Engineering of Dams. – London: Taylor & Francis, 2014.- 1382 p. ISBN: 9780429220609

6. International Commission on Large Dams (ICOLD). Dam Failures Statistical Analysis. – Paris: ICOLD, Bulletin 99, 1995. https://www.icold-cigb.org Date of access: - 17.04.2025

7. Xu Y., Zhang L., Zhang L. Lessons from Catastrophic Dam Failures in August 1975 in Zhumadian, China // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2012. - Vol.31. - P.113-125. DOI 10.1061/40971(310)20

8. Schweckendiek T., Vrouwenvelder A., Calle E.O.F. Flood risk management and safety of dams and levees in a changing climate // Water. - 2020. Vol.12(7): 2075.

9. Proryv plotiny v Kyzylagashe // Wikipedia: svobodnaja jenciklopedija [Jelektronnyj resurs]. – URL: https://ru.wikipedia.org.- Data obrashhenija: 17.04.2025.[in
Russian]

10.2010 god: OBSE, lider nacii i navodnenie v Kyzylagashe // Tengrinews [Jelektronnyj resurs]. - URL: https://tengrinews.kz.- Data obrashhenija: 17.04.2025. [in Russian]

11. Proryv plotiny Kokpektinskogo vodohranilishha // CAWater-info [Jelektronnyj resurs]. – URL: https://www.cawater-info.net.- Data obrashhenija: 21.04.2025. [in Russian]

12. Kto zhe vinovat v proryve Kokpektinskoj plotiny? // Zona.kz [Jelektronnyj resurs]. – URL: https://zonakz.net.- Data obrashhenija: 21.04.2025. [in Russian]

13. Sardobinskoe vodohranilishhe // Wikipedia : svobodnaja jenciklopedija [Jelektronnyj resurs]. – URL: https://ru.wikipedia.org.- Data obrashhenija: 03.05.2025. [in Russian]

14. V Uzbekistane vosstanovjat Sardobinskoe vodohranilishhe, proryv damby kotorogo stal prichinoj navodnenija v RK // Informburo.kz [Jelektronnyj resurs]. – URL: https://informburo.kz.- Data obrashhenija: 03.05.2025. [in Russian]

15. Hamutova M.V., Kushnikov V.A. Matematicheskaja model’ prognozirovanija posledstvij navodnenij // Vestnik Astrahan. gos. tehn. un-ta. Serija upravlenie, vychisl. tehn. inform., 2016. - № 3. - S.109-114. [in Russian]

16. Simagin I.M., Polujan L.V. Modelirovanie zon vozmozhnyh zatoplenij pri avarijah na gidrotehnicheskih sooruzhenijah. SAFETY2018. – Ekaterinburg, 2018. - S.14-21. [in Russian]

17. Striganova M.Ju. Metody ocenki i prognozirovanie posledstvij pri razrushenii gidrotehnicheskih sooruzhenij // Vestnik komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belorus’, 2012, № 1(15). – S.10-21. [in Russian]

18. Plehanov P.A. Gidrologicheskie riski prirodnogo haraktera i ih preduprezhdenie v Kazahstane // Central’ no-aziatskij zhurnal issledovanij vody. Special’ nyj vypusk ob opasnostjah, svjazannyh s vodoj v Central’ noj Azii. - Almaty, 2017, № 3(1). - S.19-25. [in Russian]

19. Mazakov T.Zh., Dzhomartova Sh.A., Mazakova A.T., Shormanov T.S., Aliaskar M.S. Gibridnaja model' prognozirovanija processa selevogo proryva // Vestnik KazUTB. - Astana, 2024. - № 2(23). - C.120-126 DOI 10.58805/kazutb.v.2.23-481. [in Russian]

Сведение об авторах

Мазаков Т.Ж. -доктор физико-математических наук, профессор, КазНУ им. аль-Фараби, профессор МИТУ, Алматы, Казахстан, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Джомартова Ш.А.- доктор технических наук, доцент, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: jomart63@gmail.com;

Мазақова Ә.Т.-PhD, старший преподаватель КазНУ им.аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Майлыбаева А.Д. - к.ф.-м.н., доцент кафедры «Информатика» Атырауского университета имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан, e-mail: a.maylibayeva@asu.edu.kz;

Мазакова Б.М. - старший преподаватель Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, e-mail: bayan7080@mail.ru;

Әлиасқар М.С - старший преподаватель МИТУ, Алматы, Казахстан, e-mail: m.alyasqar@gmail.ru

Мергенгали Е.К. - докторант КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: estony.9999@gmail.com.

Information about the authors

Mazakov T.Zh.- Doctor of Physical and mathematical sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, professor at the International University of Engineering and Technology Almaty, Kazakhstan, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Jomartova Sh.A.- Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: jomart63@gmail.com;

Mazakova A.T.- PhD, Senior Lecturer at the Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Mailybayeva A.D. -PhD, Associate Professor, Department of Computer Science, Atyrau University named after Kh. Dosmukhambetov, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: a.maylibayeva@asu.edu.kz;

Mazakova B.M.- Senior Lecturer, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, e-mail: bayan7080@mail.ru;

Aliaskar M.S.- Lecturer at the International University of Engineering and Technology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.alyasqar@gmail.ru;

Mergengali E.K. - PhD student at Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: estony.9999@gmail.com.

МНТРИ 28.23.11 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-874**

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКЕ ГЛАЗА

[1]М. Мусайф, [1]А.Ж. Кинтонова, [1,2]А.Е. Назырова, [1]Б. Разахова, [3]С.А. Алтынбек

[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Международный университет Астана, Астана, Казахстан,
[3] Esil University, Астана, Казахстан
Корреспондент-автор: mmarzhan2004@mail.ru

На протяжении работы мы опирались на открытые базы изображений радужной оболочки глаза. Среди них особенно полезными оказались CASIA и UBIRIS. Они включают в себя снимки, сделанные в разных условиях - от хорошего лабораторного освещения до более ”жизненных” ситуаций. Это как раз то, что нужно, чтобы проверить, насколько алгоритмы справляются вне идеальной обстановки.

Перед анализом фотографии были немного подготовлены: улучшали контрастность, убирали шумы, настраивали яркость. Всё это делалось для того, чтобы структура радужки была чёткой и пригодной для дальнейшей обработки.

Дальше шёл этап, где важно было найти и выделить саму радужную оболочку. Здесь хорошо себя показал метод Хафа, так как он умеет точно находить круги. После этого форма радужки преобразовывалась - из круговой в прямоугольную, чтобы с изображениями было проще работать на следующих шагах.

Когда с формой разобрались, пришло время извлечь признаки. Это такие уникальные особенности, по которым можно отличить один глаз от другого. Мы использовали фильтры Габора и вейвлеты - они неплохо справляются с детальной текстурой. Затем классификация: система должна понять, чей это глаз. Тут помогали нейросети и метод опорных векторов - в паре они давали довольно точные результаты.

В процессе тестирования мы обращали внимание не только на точность, но и на скорость работы. Важно также отслеживать, когда система ошибается - как в одну, так и в другую сторону. Такие сбои могут сказаться на безопасности.

Финальный шаг - это статистика. Мы сравнивали разные версии и отслеживали, какие из них показывают себя лучше. Так удалось понять, где алгоритм слабее, а где работает стабильно. И это даёт возможность двигаться дальше и улучшать систему.

Ключевые слова: радужная оболочка, аутентификация, глубокое обучение, сегментация изображений, вызовы в открытых средах.

LITERATURE REVIEW AND COMPARATIVE ANALYSIS OF IRIS IDENTIFICATION METHODS

[1]M. Mussaif, [1]A. Kintonova, [1,2]A. Nazyrova, [1]B. Razakhova, [3]S. Altynbek

[1]L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]Astana International University, Astana, Kazakhstan,
[3] Esil University, Астана, Казахстан,
e-mail: mmarzhan2004@mail.ru

Throughout our work, we relied on open databases of images of the iris. CASIA and UBIRIS proved to be particularly useful among them. They include images taken in a variety of conditions, from good laboratory lighting to more ”real-life” situations. This is exactly what is needed to test how well the algorithms are coping outside of an ideal environment.

Before the analysis, the photos were slightly prepared: contrast was improved, noise was removed, brightness was adjusted. All this was done to ensure that the structure of the iris was clear and suitable for further processing.

Next came the stage where it was important to find and highlight the iris itself. The Hough method has proven itself well here, as it knows how to accurately find circles. After that, the shape of the iris was transformed from circular to rectangular, so that it would be easier to work with the images in the following steps.

When the form is sorted out, it' s time to extract the signs. These are such unique features that you can tell one eye from the other. We used Gabor filters and wavelets -they do a good job with detailed texture. Then the classification: the system must understand whose eye it is. Neural networks and the support vector method helped here - together they gave fairly accurate results.

During the testing process, we paid attention not only to the accuracy, but also to the speed of operation. It is also important to keep track of when the system makes mistakes, both in one direction and in the other. Such failures can affect security.

The final step is statistics. We compared different versions and tracked which ones performed better. This is how we managed to understand where the algorithm is weaker and where it works stably. And this makes it possible to move on and improve the system.

Keywords: iris, authentication, deep learning, image segmentation, challenges in open environments.

ӘДЕБИЕТТЕРГЕ ШОЛУ ЖӘНЕ КӨЗДІҢ ҚАРАШЫҒЫ АРҚЫЛЫ ЖЕКЕ ТҰЛҒАНЫ АНЫҚТАУ ӘДІСТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

[1]М. Мұсайф✉, [1]А.Ж. Кинтонова, [1,2]А.Е. Назырова, [1]Б. Разахова, [3]С.А. Алтынбек

[1]Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Астана Халықаралық Университеті, Астана, Қазақстан,
[3] Esil University, Астана, Казахстан,
e-mail: mmarzhan2004@mail.ru

Жұмыс барысында біз көзқарашықтарының кескіндерінің ашық негіздеріне сүйендік. Олардың ішінде CASIA және UBIRIS әсіресе пайдалы болды. Олар жақсы зертханалық жарықтандырудан бастап "өмірлік" жағдайларға дейін әртүрлі жағдайларда түсірілген суреттерді қамтиды. Бұл алгоритмдердің мінсіз ортадан тыс қаншалықты жұмыс істейтінін тексеру үшін қажет нәрсе.

Талдау алдында фотосуреттер аздап дайындалды: контрастты жақсарту, шуды жою, жарықтылықты реттеу. Мұның бәрі иристің құрылымы айқын және әрі қарай өңдеуге жарамды болуы үшін жасалды.

Содан кейін иристің өзін табу және бөлектеу маңызды кезең болды. Мұнда Хаф әдісі өзін жақсы көрсетті, өйткені ол шеңберлерді дәл таба алады. Осыдан кейін иристің пішіні дөңгелектен тіктөртбұрышқа айналды, осылайша келесі қадамдарда суреттермен жұмыс істеу оңайырақ болды.

Пішін сұрыпталған кезде, белгілерді алу уақыты келді. Бұл бір көзді екіншісінен ажыратуға болатын ерекше ерекшеліктер. Біз Габор сүзгілері мен толқындарды қолдандық - олар егжей-тегжейлі текстурамен жақсы жұмыс істейді. Содан кейін жіктеу: жүйе кімнің көзі екенін түсінуі керек. Мұнда нейрондық желілер мен тірек векторларының әдісі көмектесті-жұпта олар өте дәл нәтижелер берді.

Тестілеу барысында біз дәлдікке ғана емес, жұмыс жылдамдығына да назар аудардық. Сондай-ақ, жүйенің қашан дұрыс емес екенін бақылау маңызды-бір жағынан да, екінші жағынан да. Мұндай ақаулар қауіпсіздікке әсер етуі мүмкін.

Соңғы қадам-статистика. Біз әртүрлі нұсқаларды салыстырдық және қайсысы жақсы жұмыс

істейтінін бақыладық. Осылайша алгоритмнің қай жерде әлсіз және қай жерде тұрақты жұмыс істейтінін түсінуге болады. Бұл әрі қарай жүруге және жүйені жақсартуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: көздің қарашығы, аутентификация, терең оқыту, кескінді сегменттеу, ашық ортадағы қиындықтар.

Введение. В последние годы биометрические технологии становятся всё более значимыми и активно внедряются в различные сферы человеческой деятельности. Их применение охватывает контроль доступа в аэропортах, системы идентификации на предприятиях, мобильные устройства и многие другие области, постепенно заменяя традиционные методы аутентификации, основанные на паролях или физических носителях. Отличительной особенностью биометрии является идентификация человека на основе его уникальных физиологических характеристик, что обеспечивает более высокий уровень надёжности и защищённости.

Среди множества биометрических признаков особое внимание привлекает радужная оболочка глаза, так как её структура является уникальной для каждого человека и остаётся стабильной на протяжении всей жизни. Даже у однояйцевых близнецов рисунок радужки различается, что делает этот параметр особенно ценным для задач идентификации. Работы Jan и соавт. [1] подчёркивают, что точность систем распознавания радужной оболочки (Iris Recognition Systems, IRS) напрямую зависит от качества захвата изображения и его предварительной обработки.

Однако при переходе от лабораторных условий к реальной эксплуатации возникают серьёзные трудности. Использование очков или контактных линз, наличие бликов, низкая видимость радужки, вариативность освещения и характеристик камер существенно снижают качество распознавания. Drozdowski и др. [2] показали, что наличие очков может увеличить вероятность ошибок почти в два раза. Это делает актуальной задачу разработки методов и алгоритмов, способных сохранять высокую точность идентификации даже в условиях внешних искажений.

Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является использование алгоритмов глубокого обучения. Malgheet и соавт. [3] предложили архитектуру MS-net, обеспечивающую многослойную сегментацию радужки даже при низком качестве изображений. Wan и коллеги [4] разработали методы, повышающие точность выделения зрачка на изображениях, полученных с носимых устройств. Обобщённый анализ, проведённый Yin и др. [5], показал, что глубокое обучение является не временной тенденцией, а ключевым инструментом повышения надёжности биометрических систем.

Кроме того, в ряде исследований рассматриваются задачи предварительной обработки изображений (Mathôt & Vilotijević [6]) и автоматического определения очков в кадре (Mei и др. [7]), что позволяет дополнительно повысить устойчивость IRS. Отдельное направление связано с использованием ансамблей методов, включающих сверточные нейронные сети (CNN), transfer learning и гибридные архитектуры [8-11]. Такие решения не только улучшают точность распознавания радужки, но и обеспечивают защиту от атак с поддельными изображениями.

Целью настоящей работы является проведение обзора и сравнительного анализа методов идентификации личности по радужной оболочке глаза, включающего как классические алгоритмы (метод преобразования Хафа, вейвлет-преобразования, фильтры Габора), так и современные решения на основе глубокого обучения (CNN). Особое внимание уделяется устойчивости методов сегментации, извлечения признаков и классификации к внешним искажениям, включая влияние очков и вариаций освещения.

Научная новизна исследования заключается в комплексной систематизации существующих подходов, выявлении их сильных и слабых сторон в условиях реальной эксплуатации, а также в обосновании перспективности применения гибридных архитектур CNN+SVM как наиболее эффективного направления развития IRS. Такой подход позволяет минимизировать сниже-

ние точности при наличии очков, бликов и других факторов, сопровождающих работу системы в реальных условиях.

Материалы и методы. Для анализа и тестирования алгоритмов были использованы открытые базы данных изображений радужной оболочки глаза, широко применяемые в научных исследованиях:

- *CASIA-IrisV4* – содержит изображения, снятые при различных условиях освещения, что позволяет проверить устойчивость алгоритмов не только в лабораторных, но и в приближённых к реальным сценариях;

- *UBIRIS* – включает шумные изображения радужки, имитирующие реальные условия эксплуатации биометрических систем;

- *MICHE* – база изображений, собранных с мобильных устройств, что отражает специфику идентификации при использовании портативных камер;

- *IITD* – набор данных с высоким разрешением, применяемый для оценки эффективности алгоритмов в условиях качественной съёмки.

Перед запуском алгоритмов изображения проходили *этап предварительной обработки*, включающий повышение контрастности, устранение шумов и настройку яркости. Это обеспечивало более чёткое выделение границ радужки и улучшало точность последующих этапов анализа.

Ключевым этапом являлась *сегментация радужной оболочки*. Для выделения границ зрачка и радужки применялось преобразование Хафа, хорошо подходящее для распознавания круговых структур. Полученные изображения дополнительно нормализовались и переводились в прямоугольное представление, что позволяло унифицировать формат данных и корректно сравнивать различные изображения радужек между собой.

Для *извлечения признаков* использовались вейвлет-преобразования и фильтры Габора, которые позволяют зафиксировать мелкие текстурные детали в структуре радужки, недоступные для традиционных методов анализа.

На этапе *классификации* применялись два подхода:

- *метод опорных векторов (SVM),* обеспечивающий высокую точность при сравнении признаков;

- *сверточные нейронные сети (CNN),* которые демонстрируют устойчивость к вариациям внешних факторов (наличие очков, изменения освещения, шумы).

Для оценки эффективности IRS-систем использовались метрики *Accuracy, FAR (False Acceptance Rate) и FRR (False Rejection Rate).* Тестирование проводилось как на стандартных наборах изображений, так и в условиях имитации реальных ограничений (наличие бликов, низкое качество изображения, неполные данные). Дополнительно был проведён статистический анализ результатов с целью сравнения традиционных и современных алгоритмов, что позволило выявить их сильные и слабые стороны.

Литературный обзор. Современные системы распознавания радужной оболочки глаза (Iris Recognition Systems, IRS) базируются на четырёх ключевых этапах: сегментация, нормализация, извлечение признаков и классификация. Каждый из этих шагов оказывает существенное влияние на итоговую точность, и выбор конкретного метода определяет устойчивость системы к реальным условиям эксплуатации.

Сегментация является первым и наиболее критическим этапом. Здесь важно корректно выделить радужку, исключив влияние век, ресниц, очков и бликов. Классические алгоритмы, такие как преобразование Хафа, показали высокую эффективность при выделении круговых структур, однако их точность снижается при наличии шумов. Более современные подходы основаны на нейронных сетях, которые обучаются на больших выборках и демонстрируют устойчивость к помехам [3,4].

Нормализация позволяет привести изображения радужки к единому формату, «разворачивая» круговую структуру в прямоугольное представление. Этот шаг обеспечивает корректное сравнение радужек, снятых под разными углами

или при различных масштабах.

Извлечение признаков направлено на выделение уникальных текстурных характеристик радужки. Классические методы (вейвлет-преобразования, фильтры Габора) успешно фиксируют мелкие детали рисунка, тогда как современные нейросетевые модели способны самостоятельно определять наиболее значимые признаки, что особенно полезно при низком качестве изображений [6,7].

Классификация является заключительным этапом. Наиболее распространённые алгоритмы — метод опорных векторов (SVM), k-NN и сверточные нейронные сети (CNN). SVM демонстрирует высокую точность при ограниченных данных, тогда как CNN показывает лучшие результаты в «шумных» условиях и при больших выборках [1,2,5].

Сравнительные исследования показывают, что наибольшую эффективность демонстрируют гибридные архитектуры, сочетающие CNN и SVM. Такой подход объединяет преимущества классических методов и нейросетей, обеспечивая высокую устойчивость к внешним искажениям [5].

Таблица 1 - Обзор биометрических методов распознавания радужной оболочки глаза в современных исследованиях

Исследования	Сегментация	Нормализация	Выделение признаков	Классификация	Особые аспекты/Приложение
Therar et al. [8]	Hafa (circles)	Rubber sheet	CNN with Transfer Learning	SVM multiclass	Две базы данных, высокая точность
Jayanthi et al. [9]	Hafa	-	Mask RCNN	-	Повышение контрастности, RGB - серый цвет
Azam et al. [10]	Hafa	Rubber sheet	CNN	SVM binary	Используется небольшое количество изображений
Alnahari et al. [11]	-	-	CNN	-	Обучение всего за 10 периодов
Podder et al. [12]	Canny, Prewitt, Sobel	-	-	-	Различные методы определения границ
Jagadeesh et al. [13]	Gaussian Filter, Canny	-	-	SVM	Используется MATLAB, база данных UPOL
Yiming et al. [14]	Hafa and Canny	Rubber sheet	1D Log-Gabor	Hamming distance	Ограниченное количество образцов
Ahmadi et al. [15]	-	Various steps	CNN, 2D Gabor	MLPNN-PSO	Гибридная стратегия распознавания
Chou Chia-Te et al. [16]	IDO and Hafa	-	Edge-based	SVM	Мультиспектральные изображения
Akinfende et al. [17]	Hafa and Active Contour	-	-	-	Проблемы, связанные с помехами на изображении, точность 88,3%

Lina et al. [18]	Describes ten different methods	-	-	-	Сравнение преимуществ и недостатков различных методов
Karakaya et al. [19]	-	-	DL (CNN for feature extraction)	-	Улучшение распознавания с неидеальных ракурсов
Khalifa et al. [20]	Diagram cut	-	DL (CNN with 16 layers)	-	Использование расширения набора данных, высокая точность
Younis et al. [21]	HV projections and Mask System	Convert to rectangle	Log-Gabor filter	-	Биометрические системы безопасности, использование высокочастотной проекции
Sadeq et al. [22]	-	-	-	-	Преимущества и недостатки распознавания радужной оболочки глаза, использование в аэропортах



Рис.1 - Базовая архитектура системы распознавания радужной оболочки (IRIS)

Технологии распознавания радужной оболочки продолжают развиваться, внедряя все более сложные алгоритмы обработки изображений и анализа данных. Достижения в области глубокого обучения и передовые методы сегментации и нормализации делают биометрические системы распознавания более точными и надежными.

Архитектура системы распознавания радужной оболочки имеет очевидное значение. Фундаментальная структура, основанная на традиционных методах или основанная на глубоком обучении, остается в основном неизменной. На рисунке 1 показан этот нормальный процесс. Вот семь этапов, каждый из которых имеет решающее значение для общей работы системы. Начинается процесс получения изображения. Как правило, для получения высококачественных изображений радужной оболочки специализированные камеры используют инфракрасный свет для обеспечения четкости изображения даже в условиях низкой контрастности.

Из-за этого выбор невелик. Предварительная обработка проводится сразу. Все это помогает подготовить изображение к более точному анализу, при этом повышается контрастность, снижается уровень шума и корректируется равномерная корреляция света. Следующий этап-сегментация. Здесь радужная оболочка должна отделяться от зрачка, век и ресниц. Этот уровень очень важен; даже небольшие ошибки могут повлиять на следующий процесс. После удаления радужной оболочки область радужной оболочки выпрямляется. Круглая структура превращается в однородную прямоугольную форму. Это упро-

щение гарантирует надежное сравнение ирисов разного диаметра и ориентации. После завершения нормализации система переходит к выбору знаков. На этом этапе определяются наиболее специфические структуры радужной оболочки, характерные для каждого глаза. В одних системах это связано с выделением меток, в других-это совершенно отдельная процедура. Далее следует этап принятия решения. Система либо проверяет личность пользователя по известной модели, либо отмечает человека из обширной базы данных, в зависимости от приложения. Оба процесса в основном зависят от правильного выполнения предыдущих этапов. Каждая ссылка в этой цепочке важна. Ошибка в одном из них влияет на других. От небольших встроенных устройств до биометрических платформ национального масштаба-все эти шаги составляют основу любой надежной системы распознавания радужной оболочки глаза.

Обзор научной литературы по системам идентификации очков выявил значительное несоответствие в количественных исследованиях, оценивающих влияние очков и других источников шума на работу радужной оболочки глаза. В рисунке 2 показано влияние нескольких форм шума на отдельные фазы системы распознавания радужной оболочки.

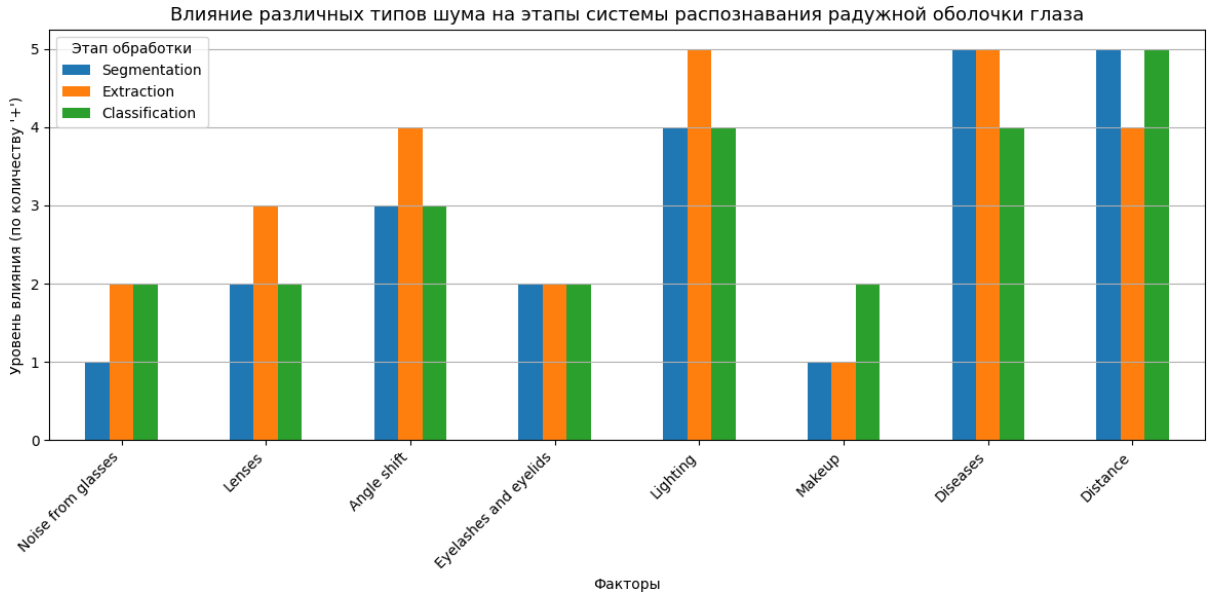


Рис.2 - Влияние различных типов шума на этапы функционирования системы распознавания радужной оболочки глаза

Рисунок 2 демонстрирует, как различные помехи и условия влияют на работу системы распознавания радужной оболочки глаза (IRIS). Обозначения в таблице просты: чем больше плюсов стоит рядом с этапом, тем серьёзнее проблема. Особенно негативно на систему влияет шум - он может привести к потере ключевой информации, снижению точности и даже сбоям в распознавании. Алгоритмы начинают ошибаться, когда входные данные становятся нестабильными или искажёнными. Это подчёркивает необходимость в более продвинутых методах предварительной обработки, которые смогут защищать систему от подобных воздействий.

Инфраструктура визуализации радужной оболочки глаза включает четыре главных компонента: подсветку, объектив, датчик и пульт управления. Без них невозможно получить чёткое изображение. Обычно съёмка производится либо в видимом спектре, либо в ближнем инфракрасном (БИК) диапазоне. Второй вариант предпочтительнее. Почему? Потому что инфракрасный свет помогает ”пробить” пигмент, особенно у людей с тёмными глазами. Это улучшает види-

мость структуры радужки. А чем лучше качество изображения - тем выше точность распознавания.

Чтобы продемонстрировать влияние внешних факторов, в исследовании представлены снимки, сделанные на двух длинах волн. На части изображений человек в очках, на других - без. Такая вариативность помогает объективно оценить работу алгоритмов. Ведь в реальной жизни идеальные условия бывают редко. Поэтому важна проверка в сложных сценариях.

Для обучения и тестирования нейросетей предложено использовать открытые базы данных: CASIA-IrisV4, MICHE и UBIRIS. Они давно применяются в научных проектах. Все три набора включают изображения, полученные в разных условиях - от студийных до ”полевых”. Например, в UBIRIS встречаются кадры с плохим освещением, движением глаз и другими искажениями. Это делает их идеальной основой для сравнения эффективности алгоритмов. Чем больше испытаний - тем надёжнее результаты (рисунок 3).

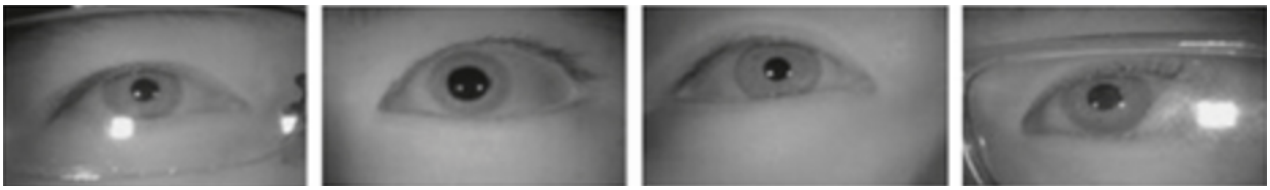


Рис.3 - Выборка изображений радужной оболочки глаза из общедоступной базы данных при различных условиях получения



Рис.4 - Типичные изображения радужной оболочки глаза из нескольких общедоступных баз данных, сделанные в изменяющихся условиях, в том числе в очках и без них

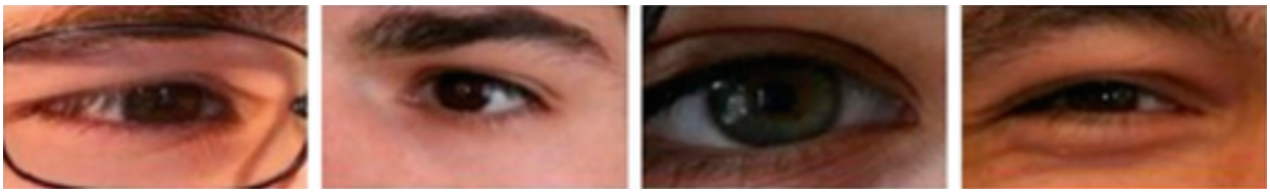


Рис.5 - Образцы изображений радужной оболочки глаза из общедоступных баз данных при различных условиях получения



Рис.6 - Изменения изображения радужной оболочки глаза из общедоступных наборов данных при различных условиях съемки

Кроме самих устройств, которые используют для съёмки радужной оболочки глаза, существует ещё и много специальных баз изображений. Эти базы собирались специально для того, чтобы исследователи могли тестировать свои методы, проверять, как работают их алгоритмы, и сравнивать точность распознавания. Сейчас они доступны практически каждому, и это серьёзно помогает в разработке новых подходов.

Чаще всего такие изображения получаются с помощью ближнего инфракрасного света (NIR), потому что он лучше «видит» структуру радужки. Особенно это важно для людей с тёмными глазами. Но есть и базы, в которых используются обычные фото в видимом спектре (VIS). Встречаются разные форматы - как сжатые, так и оригинальные несжатые изображения. Некоторые наборы были собраны в идеальных лабораторных условиях, а другие - наоборот, в более «живых» ситуациях, где много помех и нестабильного освещения.

В рисунке 7, собраны советы по тому, какие базы данных можно использовать. Все они открыты и подходят для тестирования точности работы алгоритма. Это удобно, потому что можно быстро проверить, как метод справляется в разных условиях.

В этой работе также был сделан обзор систем, которые распознают человека по радужной оболочке [23]. В нём рассмотрено несколько разных подходов, показаны их сильные и слабые стороны, а ещё - предложены направления, в которых можно продолжать исследования. Такие обзоры полезны: они помогают понять, где мы сейчас и куда двигаться дальше.

В таблице 2 собраны популярные базы, которые чаще всего используют. Самая известная из них - CASIA. Там качественные изображения, и с ней проще добиться высокой точности. Поэтому она считается одной из лучших.

В таблице 5 перечислены методы, которые можно найти в научных статьях. Там есть всё: и как сегментировать изображение, и как выделять признаки, и как сравнивать радужки между собой. Одни авторы концентрируются на чём-то одном, например, только на границах. А другие описывают весь процесс распознавания - от начала и до конца.

В целом, важно правильно подобрать базу и понимать, какие шаги включает распознавание. Тогда можно построить систему, которая будет работать точно и надёжно, даже в сложных условиях.

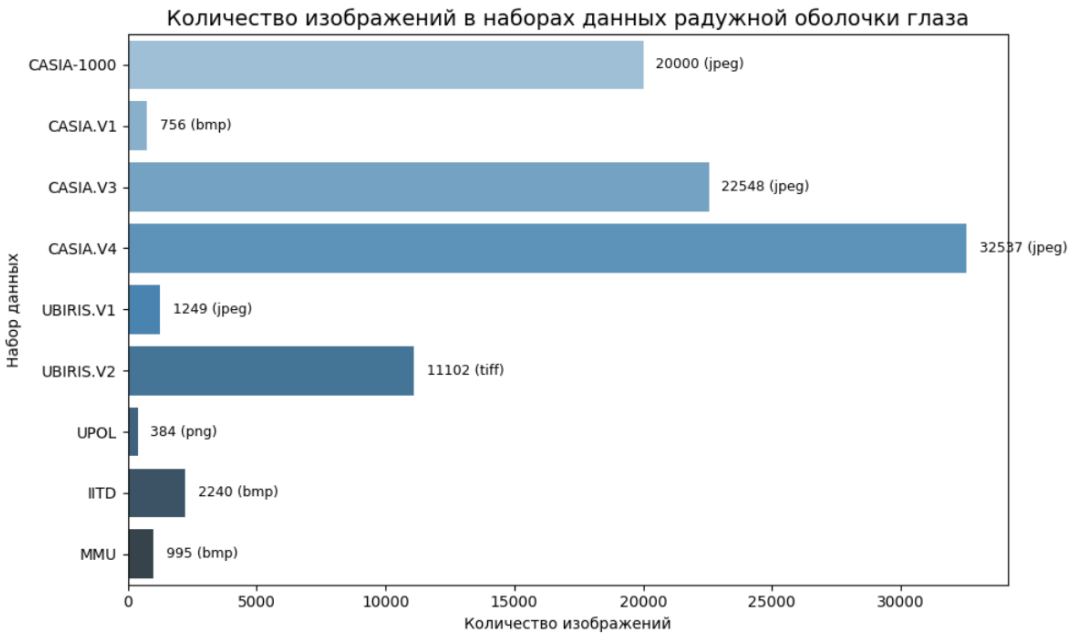


Рис.7 - Описания наборов данных

Таблица 2 - Сравнительный анализ этапов с использованием различных наборов данных

Автор/Год выпуска	Сегментация	Гра-ница	Функция обнаружения	Сопоставление при извлечении	Набор данных	Точность/погрешность
Therar et al. (2021) [8]	Circular Hough Transform (CTH)	-	(CNN)	(SVM)	IITD, Casia - V3	IITD левого глаза с 200 эпохами достиг точности 99%, IITD правого глаза с таким же количеством эпох достиг такой же точности, интервал Casia с 300 эпохами достиг 94%, интервал Casia с таким же количеством эпох достиг точности 93%.
Jayanthi et al. (2021) [9]	HT Region-Based Convolutional Neural Network (RCNN)	-	HT Region-Based Convolutional Neural Network (RCNN)	-	Casia Iris Thousand	99.14%
Azam et al. (2020) [10]	Hough Transform	-	(CNN)	(SVM)	Casia - V4	96.3%
Alnahari et al. (2021) [11]	-	-	(CNN)	-	IITD	CNN показал 10 периодов и достиг точности 97,46%
Jagadeesh et al. (2017) [13]	Gaussian Filter Canny Edge Detector	Canny Edge Dete-ctor	Curvilinear transformations	(SVM)	UPOL	-
Ahmadi et al. (2017) [15]	2D Gabor Kernel	-	(CNN)	Multilayer Perceptron with Particle Swarm Optimization (MLPNN-PSO)	-	95.36%
Chou et al. (2009)	Intelligent Random Segmentation Method	-	Дескриптор по типу края	Сопоставление по краям	Nova Iris Image System	Погрешность при съемке под разными углами 0,04%
Akinfende et al. (2010) [17]	Circular Hough Transform and Active Contour	-	-	-	-	88.3%
Karakaya et al. (2018) [19]	-	-	(CNN)	-	Off-angle Iris	-

Анализ этого сравнительного исследования показал, что точность распознавания радужной оболочки зависит от точности совпадений и несоответствий изображения в рамках используемых методов. Следует отметить, что многие системы включают круговое частичное преобразование на этапе сегментации. Этот метод показывает эффективность автоматизации сбора данных и ее шумостойкость. Кроме того, этот метод позволяет легко регулировать уровень детализации полученных данных, но может привести к ошибкам, если на изображениях сильные тени. Преобразование Haf дает более высокие результаты сегментации по сравнению с другими методами, что подтверждается данными о точности обучения. На этапах определения границ многие системы используют методы определения контуров. Четкость и плавность контуров способствуют повышению качества определения объектов. Использование преобразований haf для определения линий и эллипсов может значительно улучшить результаты, как показано в исследовании [24].Также в данной области рассматривается исследование Мусайф М. и соавторов

[25], в котором представлен усовершенствованный алгоритм локализации зрачка, основанный на преобразовании Хафа с использованием эллиптической и круговой компенсации. Разработанный метод эффективно решает проблемы деформации и частичной окклюзии, внося значительный вклад в повышение точно сти предобработки изображений радужной оболочки.

Полученные результаты находятся в русле современных тенденций развития биометрических систем, ориентированных на повышение точности и надежности распознавания. Достижение высоких показателей точности представляет собой существенный прогресс в решении одной из ключевых задач биометрической идентификации. В качестве перспективного направления для преодоления ограничений унимодальных систем выступает разработка мультимодальных подходов, комбинирующих различные биометрические характеристики. Эффективным решением данной проблемы является комбинированный метод PCA-Daugman для мультимодального распознавания по лицу и радужной оболочке глаза, предложенный в работе [26]. Данная методика демонстрирует улучшенные характеристики и обеспечивает достоверную идентификацию личности в сложных условиях, включая случаи наличия аксессуаров и изменений внешности.

Наиболее часто используемым и успешным методом выделения признаков в системах обнаружения радужной оболочки является сверточная нейронная сеть (CNN). Способность CNN автоматически обнаруживать важные признаки без участия человека помогает объяснить высокую точность. Кроме того, сверточные нейронные сети подходят для использования в различных устройствах, поскольку их вычислительная эффективность зависит от совместного использования параметров и использования методов сверточной обработки и интеграции. Новейшая версия технологии распознавания радужной оболочки глаза. Исследование показывает, что опорные векторные методы (SVM) явно используются во многих системах. Высокая эффективность в многомерном пространстве, способность эффективно работать, даже если количество измерений превышает количество образцов, и значительная экономия скорости и памяти за счет использования только опорных векторов в функции принятия решений определяют преимущества SVM. В конечном итоге комбинация преобразований haf, CNN и SVM в наборах данных Casia демонстрирует высокую точность, что было подтверждено в исследованиях [8] и [10].Наиболее часто используемым и успешным методом выделения признаков в системах обнаружения радужной оболочки является сверточная нейронная сеть (CNN). Способность CNN автоматически обнаруживать важные признаки без участия человека помогает объяснить высокую точность. Кроме того, сверточные нейронные сети подходят для использования в различных устройствах, поскольку их вычислительная эффективность зависит от совместного использования параметров и использования методов сверточной обработки и интеграции. Новейшая версия технологии распознавания радужной оболочки глаза. Исследование показывает, что опорные векторные методы (SVM) явно используются во многих системах. Высокая эффективность в многомерном пространстве, способность эффективно работать, даже если количество измерений превышает количество образцов, и значительная экономия скорости и памяти за счет использования только опорных векторов в функции принятия решений определяют преимущества SVM. В конечном итоге комбинация преобразований haf, CNN и SVM в наборах данных Casia демонстрирует высокую точность, что было подтверждено в исследованиях [8] и [10].

Обсуждение и результаты. Сравнительный анализ показал, что классические методы сегментации и извлечения признаков обеспечивают высокую точность при лабораторных условиях, однако их эффективность резко снижается при наличии внешних искажений. Например, на базе CASIA-IrisV4 точность достигала 96,2%, однако при наличии очков снижалась до 89,4%, что подтверждает чувствительность традиционных алгоритмов к бликам и отражениям.

Использование гибридных архитектур, основанных на комбинации преобразования Хафа, сверточных нейронных сетей (CNN) и метода опорных векторов (SVM), позволило существенно повысить устойчивость распознавания. Так, связка *HT + RCNN* продемонстрировала точность *99,14%* на базах CASIA и UBIRIS, что значительно превышает показатели традиционных подходов. Особенно важно отметить, что при масштабировании модели на большие выборки изображений с очками снижение точности было минимальным, что свидетельствует о высокой способности модели к обобщению.

Для оценки эффективности систем использовались стандартные метрики: *Accuracy, FAR (False Acceptance Rate) и FRR (False Rejection Rate)*. Наиболее сбалансированные показатели были зафиксированы при применении гибридной архитектуры CNN+SVM: *FAR = 2,3%, FRR = 3,1%,* что свидетельствует о снижении ошибок как ложного допуска, так и отказа в распознавании.

Дополнительный анализ (см. таблицы 2 и 4) показал, что влияние шумов распределяется неравномерно по этапам обработки. Наибольшие трудности возникают при сегментации, которая наиболее чувствительна к бликам и изменениям угла съёмки. Это подчёркивает необходимость улучшения алгоритмов предварительной обработки изображений.

Методы, основанные на *вейвлет-преобразованиях и фильтрах Габора,* демонстрируют неплохие результаты при выделении текстурных признаков, однако по устойчивости к внешним искажениям уступают сверточным нейросетям. Применение нормализации изображений с использованием «модели резинового листа» (rubber sheet model) позволило повысить точность классификации, особенно при вариациях формы и размера зрачка.

В целом, внедрение глубокого обучения в IRS делает системы более точными и надёжными в условиях реальной эксплуатации. Несмотря на достигнутые результаты, остаются задачи по адаптации моделей к динамическим сценариям: движению человека, использованию очков и контактных линз, изменению освещения. Полученные результаты подтверждают перспективность гибридных решений, объединяющих сильные стороны классических и современных методов, и могут быть использованы для разработки IRS нового поколения.

Выводы. В данной работе был проведён подробный анализ методов распознавания личности по радужной оболочке глаза. Рассматривались как классические подходы, так и современные алгоритмы на основе глубокого обучения. Особое внимание уделено архитектурам, в которых сверточные нейронные сети (CNN) сочетаются с преобразованием Хафа и методом опорных векторов (SVM). Именно такая комбинация даёт наиболее высокую точность, особенно при наличии очков, различного освещения и разных моделей камер.

Были изучены три наиболее распространённые базы данных: CASIA, UBIRIS и IITD. Результаты показали, что выбор набора данных существенно влияет на итоговую точность - как на этапе обучения, так и во время тестирования. Правильно подобранный датасет может повысить эффективность системы, тогда как нерепрезентативные данные - наоборот, привести к ухудшению результатов.

Отдельно рассмотрена проблема влияния очков на сегментацию радужки. Если такие помехи не учитывать, возрастает риск двойного распознавания или других ошибок. Это подчёркивает необходимость использования защитных и корректирующих алгоритмов, способных обрабатывать изображения с искажениями.

На основе полученных выводов можно продолжить разработку биометрических систем, более устойчивых к неконтролируемым условиям. В перспективе стоит задача расширения обучающих выборок, доработки этапов сегментации и улучшения общей архитектуры моделей.

Представленное исследование может стать основой для следующих работ в области биометрической аутентификации и дать направление для создания новых, более надёжных и адаптивных систем.

Литература

1. Jan F., Alrashed S., Min-Allah N. Iris segmentation for non-ideal iris biometric systems // Multimedia Tools and Applications.-2024. – Vol. 83(5).- P.15223–15251. DOI 10.1007/s11042-021-11075-9.

2. Drozdowski P., Struck F., Rathgeb C., Busch C. Detection of Glasses in Near-Infrared Ocular Images // 2018 International Conference on Biometrics (ICB), Gold Coast, QLD, Australia. – 2018.- P.202 - 208. DOI 10.1109/ICB2018.2018.00039.

3. Malgheet J. R., Manshor N. B., Affendey L. S., Halin A. B. A. MS-net: Multi-segmentation network for the iris region using deep learning in an unconstrained environment // IEEE Access. – 2023.-Vol.11. DOI 10.1109/ACCESS.2023.3282547.

4. Wan Z. H., Xiong C. H., Chen W. B., Zhang H. Y. Robust and accurate pupil detection for head-mounted eye tracking // Computers & Electrical Engineering.-2021. - Vol.93.- P.107193. DOI 10.1016/j.compeleceng.2021.107193.

5. Yin Y., He S., Zhang R., Chang H., Han X., Zhang J. Deep learning for iris recognition: a review //arXiv preprint arXiv:2303.08514.-2023. DOI 10.48550/arXiv.2303.08514

6. Mathôt S., Vilotijević A. Methods in cognitive pupillometry: Design, preprocessing, and statistical analysis // Behavior Research Methods.-2023.-Vol.55(6).-P.3055–3077. DOI 10.3758/s13428-022-01957-7.

7. Mei H., Yang X., Wang Y., Liu Y., He S., Zhang Q., Lau R. W. Don’ t hit me! Glass detection in real-world scenes // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.-2020. – P.3687–3696. DOI 10.1109/CVPR42600.2020.00374.

8. Therar H. M., Mohammed E. A., Ali A. J. Multibiometric system for iris recognition based on convolutional neural network and transfer learning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.-2021.-Vol.1105(1).- P.012032. DOI 10.1088/1757-899X/1105/1/012032.

9. Jayanthi J., Lydia E. L., Krishnaraj N., Jayasankar T., Babu R. L., Suji R. A. Retracted article: An effective deep learning features based integrated framework for iris detection and recognition // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing.- 2021.-Vol. 12(3). - P.3271–3281. DOI 10.1007/s12652-020-02172-y.

10. Azam M. S., Kabir R. H. Iris Recognition using Convolutional Neural Network // International Journal of Computer Applications.-2020. -Vol. 175(12). - P.24–28. DOI 10.5120/ijca2020920602.

11. Alnahari W. Convolutional Neural Network for Iris Recognition. - 2021. DOI 10.21203/rs.3.rs-244624/v1

12. Podder P., Parvez A. H. M. S., Yeasmin M. N., Ibrahim K. M. Relative performance analysis of edge detection techniques in iris recognition system // 2018 International Conference on Current Trends towards Converging Technologies (ICCTCT).- IEEE,2018. -P.1–6. DOI 10.1109/ICCTCT.2018.8551023.

13. Jagadeesh N., Patil C. M. Iris recognition system development using MATLAB // 2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). – IEEE, 2017. - P.348–353.

14. Yiming Z., Jun W. Research on iris recognition algorithm based on hough transform // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.- 2018.- Vol.439(№ 3).- P.032007. DOI 10.1088/1757-899X/439/3/032007.

15. Ahmadi N., Akbarizadeh G. Hybrid robust iris recognition approach using iris image pre-processing, two-dimensional gabor features and multi-layer perceptron neural network/PSO // IET Biometrics.- 2017.-Vol. 7(2).- P..153-162. DOI 10.1049/iet-bmt.2017.0041.

16. Chou C.-T., Shih S.-W., Chen W.-S., Cheng V. W., Chen D.-Y. Non-orthogonal view iris recognition system // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology.- 2009.-Vol.20(3). -P. 417-430. DOI 10.1109/TCSVT.2009.2035849.

17. Akinfende A. S., Imoize A. L., Ajose O. S. Investigation of iris segmentation techniques using active contours for non-cooperative iris recognition // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.-2020.-Vol.19(3). - P.1275–1286. DOI 10.11591/ijeecs.v19.i3.pp1275-1286. [in English].

18. Lina A. A. C., Sivagami B. A deep survey on iris recognition methods // Journal of Information and Computational Science.-2020.-Vol. 10(1).-P.748-752. DOI 10.12733. JICS.2020.V1I1.535569.11583

19. Karakaya M. Deep Learning Frameworks for Off-Angle Iris Recognition // 2018 IEEE 9th International Conference on Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS). - 2018. DOI 10.1109/BTAS.2018.8698565

20. Khalifa N. E. M., Taha M. H. N., Hassanien A. E., Mohamed H. N. E. T. Deep iris: deep learning for gender classification through iris patterns // Acta Informatica Medica. - 2019. -Vol.27(2)- P.96. DOI: 10.5455/aim.2019.27.96-101.

21. Younis H. A.-K., Uraibi Z. A. Design and Implementation of an Iris Recognition System // Journal of Al Qadisiyah for Computer Science and Mathematics.-2010.-Vol.2(2).- P.89–107.

22. Sadeq S., Zidan K. A., Stephan J. J. A review on iris recognition system based different classification techniques // Solid State Technology.- 2021.-Vol.64(2).- P.5106–5120.

23. Zhou W., Ma X., Zhang Y. Research on image preprocessing algorithm and deep learning of iris recognition // Journal of Physics: Conference Series. -2020.-Vol.1621(1): 012008. DOI 10.1088/1742-6596/1621/1/012008.

24. Khan M. A., Syed N. A. Image processing techniques for automatic detection of tumor in human brain using SVM // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering.-2015.- Vol.4(4).-P.541-544 DOI 10.17148/IJARCCE.2015.44125

25. Мусайф М., Кинтонова А.Ж., Назырова А.Е., Муратова Г., Повхан И.Ф. Улучшенный метод локализации зрачка на основе преобразования Хафа с использованием эллиптической и круговой компенсации // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2024. – № 3. – С. 103–117. https://doi.org/10.32014/2024.2518-1726.295

26. Мусаев М., Кинтонова А.Ж., Назырова А.Е., Алтынбек А., Калдарова М. Интеграция унимодальных и мультимодальных биометрических систем для повышения точности идентификации личности: разработка и оценка метода PCA-Даугмана // Вестник КазУТБ. – 2024. - Т.2(23). - С.169-179. DOI 10.58805/kazutb.v.2.23-488.

References

1. Jan F., Alrashed S., Min-Allah N. Iris segmentation for non-ideal iris biometric systems // Multimedia Tools and Applications.-2024. – Vol.83(5).- P.15223–15251. DOI 10.1007/s11042-021-11075-9.

2. Drozdowski P., Struck F., Rathgeb C., Busch C. Detection of Glasses in Near-Infrared Ocular Images // 2018 International Conference on Biometrics (ICB), Gold Coast, QLD, Australia. – 2018.- P.202 - 208. DOI 10.1109/ICB2018.2018.00039.

3. Malgheet J. R., Manshor N. B., Affendey L. S., Halin A. B. A. MS-net: Multi-segmentation network for the iris region using deep learning in an unconstrained environment // IEEE Access. – 2023.-Vol.11. DOI 10.1109/ACCESS.2023.3282547.

4. Wan Z. H., Xiong C. H., Chen W. B., Zhang H. Y. Robust and accurate pupil detection for head-mounted eye tracking // Computers & Electrical Engineering.-2021. - Vol.93.- P.107193. DOI 10.1016/j.compeleceng.2021.107193.

5. Yin Y., He S., Zhang R., Chang H., Han X., Zhang J. Deep learning for iris recognition: a review //arXiv preprint arXiv:2303.08514.-2023. DOI 10.48550/arXiv.2303.08514

6. Mathôt S., Vilotijević A. Methods in cognitive pupillometry: Design, preprocessing, and statistical analysis // Behavior Research Methods.-2023.-Vol.55(6).-P.3055–3077. DOI 10.3758/s13428-022-01957-7.

7. Mei H., Yang X., Wang Y., Liu Y., He S., Zhang Q., Lau R. W. Don' t hit me! Glass detection in real-world scenes // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.-2020. – P.3687–3696. DOI 10.1109/CVPR42600.2020.00374.

8. Therar H. M., Mohammed E. A., Ali A. J. Multibiometric system for iris recognition based on convolutional neural network and transfer learning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.-2021.-Vol.1105(1).- P.012032. DOI 10.1088/1757-899X/1105/1/012032.

9. Jayanthi J., Lydia E. L., Krishnaraj N., Jayasankar T., Babu R. L., Suji R. A. Retracted article: An effective deep learning features based integrated framework for iris detection and recognition // Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing.- 2021.-Vol.12(3). - P.3271–3281. DOI 10.1007/s12652-020-02172-y.

10. Azam M. S., Kabir R. H. Iris Recognition using Convolutional Neural Network // International Journal of Computer Applications.-2020. -Vol. 175(12). - P.24–28. DOI 10.5120/ijca2020920602.

11. Alnahari W. Convolutional Neural Network for Iris Recognition. - 2021. DOI 10.21203/rs.3.rs-244624/v1

12. Podder P., Parvez A. H. M. S., Yeasmin M. N., Ibrahim K. M. Relative performance analysis of edge detection techniques in iris recognition system // 2018 International Conference on Current Trends towards Converging Technologies (ICCTCT).- IEEE,2018. -P.1–6. DOI 10.1109/ICCTCT.2018.8551023.

13. Jagadeesh N., Patil C. M. Iris recognition system development using MATLAB // 2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). – IEEE, 2017. - P.348–353.

14. Yiming Z., Jun W. Research on iris recognition algorithm based on hough transform // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.- 2018.- Vol.439(№ 3).- P.032007. DOI 10.1088/1757-899X/439/3/032007.

15. Ahmadi N., Akbarizadeh G. Hybrid robust iris recognition approach using iris image pre-processing, two-dimensional gabor features and multi-layer perceptron neural network/PSO // IET Biometrics.- 2017.-Vol. 7(2).- P..153-162. DOI 10.1049/iet-bmt.2017.0041.

16. Chou C.-T., Shih S.-W., Chen W.-S., Cheng V. W., Chen D.-Y. Non-orthogonal view iris recognition system // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology.- 2009.-Vol.20(3). -P. 417-430. DOI 10.1109/TCSVT.2009.2035849.

17. Akinfende A. S., Imoize A. L., Ajose O. S. Investigation of iris segmentation techniques using active contours for non-cooperative iris recognition // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science.-2020.-Vol.19(3). - P.1275–1286. DOI 10.11591/ijeecs.v19.i3.pp1275-1286. [in English].

18. Lina A. A. C., Sivagami B. A deep survey on iris recognition methods // Journal of Information and Computational Science.-2020.-Vol. 10(1).-P.748-752. DOI 10.12733. JICS.2020.V1I1.535569.11583

19. Karakaya M. Deep Learning Frameworks for Off-Angle Iris Recognition // 2018 IEEE 9th

International Conference on Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS). - 2018. DOI 10.1109/BTAS.2018.8698565

20. Khalifa N. E. M., Taha M. H. N., Hassanien A. E., Mohamed H. N. E. T. Deep iris: deep learning for gender classification through iris patterns // Acta Informatica Medica. - 2019. -Vol.27(2)- P.96. DOI: 10.5455/aim.2019.27.96-101.

21. Younis H. A.-K., Uraibi Z. A. Design and Implementation of an Iris Recognition System // Journal of Al Qadisiyah for Computer Science and Mathematics.-2010.-Vol.2(2).- P.89–107.

22. Sadeq S., Zidan K. A., Stephan J. J. A review on iris recognition system based different classification techniques // Solid State Technology.- 2021.-Vol.64(2).- P.5106–5120.

23. Zhou W., Ma X., Zhang Y. Research on image preprocessing algorithm and deep learning of iris recognition // Journal of Physics: Conference Series. -2020.-Vol.1621(1): 012008. DOI 10.1088/1742-6596/1621/1/012008.

24. Khan M. A., Syed N. A. Image processing techniques for automatic detection of tumor in human brain using SVM // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering.- 2015.- Vol.4(4).-P.541-544 DOI 10.17148/IJARCCE.2015.44125

25. Musajf M., Kintonova A.Zh., Nazyrova A.E., Muratova G., Povhan I.F. Uluchshennyj metod lokalizacii zrachka na osnove preobrazovanija Hafa s ispol’ zovaniem jellipticheskoj i krugovoj kompensacii // Izvestija NAN RK. Serija fiziko-matematicheskaja. – 2024. – № 3. – S. 103–117. https: //doi.org/10.32014/2024.2518-1726.295.%5bin Russian]

26. Musaev M., Kintonova A.Zh., Nazyrova A.E., Altynbek A., Kaldarova M. Integracija unimodal’ nyh i mul’ timodal’ nyh biometricheskih sistem dlja povyshenija tochnosti identifikacii lichnosti: razrabotka i ocenka metoda PCA-Daugmana // Vestnik KazUTB. – 2024. - T.2(23). - S. 169-179. DOI 10.58805/kazutb.v.2.23-488. [in Russian]

Сведения об авторах

Мусайф М. - докторант Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: kzldkz@gmail.com;

Кинтаново А. - и.о. доцента кафедры технологий искусственного интеллекта Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Лфзфхстан, e-mail: Kintonova_AZh@enu.kz;

Назырова А. - старший преподаватель Международного университета Астаны, Астана, Казахстан, e-mail: ayzhan.nazyrova@gmail.com;

Разахова Б.Ш. - заведующий кафедрой Технологии искусственного интеллекта Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: razakhova_bsh@enu.kz;

Алтынбек С. – PhD, Esil University, Астана, Казахстан, e-mail: serik_aa@bk.ru.

Information about the authors

Mussaif M. - doctorial student of the L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kzldkz@gmail.com;

Kintanovo A. - Acting Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence Technology of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: Kintonova_AZh@enu.kz;

Nazyrova A. - senior lecturer of the Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: ayzhan.nazyrova@gmail;

Razakhova B. Sh. - Head of the Department of Artificial Intelligence Technology of L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: razakhova_bsh@enu.kz;

Muratova G.K. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Acting Associate Professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana, Kazakhstan, e-mail: mugk@mail.ru;

Altynbek S. - PhD, Esil University, Astana, Kazakhstan, e-mail: serik_aa@bk.ru.

МРНТИ 28.23.37 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-873**

ПРЕДИКТИВНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ШПИНДЕЛЬНЫХ ПОДШИПНИКОВ НА ОСНОВЕ ВИБРОДИАГНОСТИКИ (НА ПРИМЕРЕ ТОКАРНОГО СТАНКА CKE 6136/6150)

[1]В.А. Мадин✉, [1]Д.Н. Комаров, [1]О.С.Салыкова, [1]Б.Р. Салыков, [2]М.Ю. Зарубин, [1]Т.Ж. Кобжасаров

[1]Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан,
[2]Костанайский инженерно-экономический университет им. Мыржакыпа Дулатова, Костанай, Казахстан
✉Корреспондент-автор: vmadin@mail.ru

Современные методы предиктивного обслуживания (Predictive Maintenance, PdM) позволяют повысить надежность оборудования и снизить затраты на ремонт за счет раннего выявления неисправностей. В данной работе рассматривается комплексный подход к предиктивному обслуживанию шпиндельных подшипников токарного станка CKE 6136/6150, основанный на вибрационной диагностике, спектральном анализе и методах машинного обучения. Проведен комплексный анализ временных рядов вибрации, температуры и нагрузок, включая статистический и спектральный анализ. Результаты показали, что вибрация передней опоры (радиальная) является ключевым индикатором износа.

В ходе исследования протестированы модели машинного обучения, включая линейную регрессию и градиентный бустинг (XGBoost). Наилучшие результаты продемонстрировала модель XGBoost с точностью $R^2 = 0.999$. Проведен SHAP-анализ значимости признаков, подтвердивший вклад вибрации и температуры в прогнозирование уровня износа. Спектральный анализ позволил выявить характерные частоты повреждений подшипников (BPFO, BPFI, BSF, FTF), однако продемонстрировал ограниченность методики при недостаточной частоте дискретизации данных. Это подтверждает необходимость корректного выбора частоты измерений, так как низкая частота дискретизации может привести к потере диагностически значимой информации.

Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного подхода к диагностике износа шпиндельных подшипников. В заключении сформулированы перспективные направления исследований, включая увеличение частоты сбора данных, валидацию модели на реальных станках и разработку адаптивных алгоритмов предиктивного обслуживания.

Ключевые слова: предиктивное обслуживание, вибрационная диагностика, машинное обучение, шпиндельные подшипники, спектральный анализ, прогнозирование отказов, градиентный бустинг, интеллектуальный мониторинг оборудования.

ВИБРОДИАГНОСТИКА НЕГІЗІНДЕГІ ШПИНДЕЛЬДІ ОЙЫНТІРЕКТЕРДІҢ ПРЕДИКТИВТІ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУІ (CKE 6136/6150 ТОКАРЬ СТАНОГЫНЫҢ МЫСАЛЫНДА)

[1]В.А. Мадин✉, [1]Д.Н. Комаров, [1]О.С. Салыкова, [1]Б.Р. Салыков, [2]М.Ю. Зарубин, [1]Т.Ж. Кобжасаров

[1]Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай, Қазақстан,
[2]Мыржакып Дулатов атындағы Қостанай инженерлік-экономикалық университеті, Қостанай, Қазақстан,
e-mail: vmadin@mail.ru

Қазіргі заманғы предиктивті қызмет көрсету әдістері (Predictive Maintenance, PdM) жабдықтың сенімділігін арттырып, ақауларды ерте анықтау арқылы жөндеу шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Бұл зерттеуде CKE 6136/6150 токарь станогының шпиндельді мойынтіректеріне арналған предиктивті қызмет көрсетуге кешенді көзқарас ұсынылады, ол вибродиагностика, спектралды талдау және машиналық оқыту әдістеріне негізделген. Вибрация, температура және жүктемелер бойынша уақыттық қатарларға статистикалық және спектралды талдауды қамтитын кешенді зерттеу жүргізілді. Нәтижелер көрсеткендей, алдыңғы тіректің радиалды вибрациясы тозудың негізгі индикаторы болып табылады.

Зерттеу барысында машиналық оқыту модельдері, соның ішінде сызықтық регрессия және XGBoost градиентті бустинг әдістері сыналды. Ең жақсы нәтижелер $R^2 = 0.999$ дәлдігімен XGBoost моделесі көрсетті. SHAP талдауы вибрация мен температураның тозуды болжаудағы маңыздылығын растады. Спектралды талдау мойынтіректердің зақымдану жиіліктерін (BPFO, BPFI, BSF, FTF) анықтауға мүмкіндік берді, бірақ деректердің жеткіліксіз дискреттеу жиілігі кезінде әдістің шектеулігін көрсетті. Бұл өлшеу жиілігін дұрыс таңдаудың маңыздылығын растайды, өйткені төмен дискреттеу жиілігі диагностикалық тұрғыдан маңызды ақпараттың жоғалуына әкелуі мүмкін.

Алынған нәтижелер шпиндельді мойынтіректердің тозуын диагностикалау үшін ұсынылған әдістің тиімділігін растайды. Қорытынды бөлімде зерттеудің болашақ бағыттары, соның ішінде деректерді жинау жиілігін арттыру, модельді нақты станоктарда валидациялау және предиктивті қызмет көрсетуге арналған адаптивті алгоритмдерді әзірлеу қарастырылады.

Түйін сөздер: предиктивті қызмет көрсету, вибрациялық диагностика, машиналық оқыту, шпиндельді мойынтіректер, спектралды талдау, істен шығуды болжау, градиентті бустинг, жабдықтың интеллектуалды мониторингі.

PREDICTIVE MAINTENANCE OF SPINDLE BEARINGS BASED ON VIBRATION DIAGNOSTICS (A CASE STUDY OF THE CKE 6136/6150 LATHE)

[1]V.A. Madin✉, [1]D.N. Komarov, [1]O.S. Salykova, [1]B.R. Salykov, [2]M.Yu. Zarubin, [1]T.Zh. Kobzhasarov

[1]Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Kazakhstan,
[2]Kostanay engineering and economics university named after M.Dulatov, Kostanay, Kazakhstan,
e-mail: vmadin@mail.ru

Modern predictive maintenance (Predictive Maintenance, PdM) methods enhance equipment reliability and reduce repair costs by enabling early fault detection. This study presents a comprehensive approach to predictive maintenance of spindle bearings in the CKE 6136/6150 lathe, based on vibration diagnostics, spectral analysis, and machine learning techniques. A thorough analysis of vibration, temperature, and load time series was conducted, incorporating both statistical and spectral analysis. The results indicate that the front support's radial vibration is a key wear indicator.

During the study, machine learning models, including linear regression and gradient boosting (XGBoost), were tested. The XGBoost model demonstrated the best performance with an accuracy of $R^2 = 0.999$. A SHAP analysis confirmed the significance of vibration and temperature in predicting wear levels. Spectral analysis identified characteristic bearing defect frequencies (BPFO, BPFI, BSF, FTF), but also highlighted the limitations of the method when data sampling frequency was insufficient. This underscores the importance of selecting an appropriate measurement frequency, as low sampling rates may lead to the loss of diagnostically significant information.

The obtained results confirm the effectiveness of the proposed approach for spindle bearing wear diagnostics. The conclusion outlines future research directions, including increasing data collection frequency, validating the model on real machines, and developing adaptive predictive maintenance algorithms.

Keywords: predictive maintenance, vibration diagnostics, machine learning, spindle bearings, spectral analysis, failure prediction, gradient boosting, intelligent equipment monitoring.

Введение. В современном производстве надежность оборудования играет ключевую роль в снижении затрат и повышении эффективности. Одним из передовых методов повышения эксплуатационной надежности является предиктивное техническое обслуживание (Predictive Maintenance, PdM), основанное на анализе состояния оборудования в реальном времени и прогнозировании отказов.

Различные методы технического обслуживания оборудования отличаются степенью проактивности, используемыми диагностическими

подходами и экономической эффективностью. Традиционные методы технического обслуживания можно разделить на три категории [1]):

- реактивное обслуживание (Run-to-Failure) – оборудование ремонтируется только после возникновения неисправности, что приводит к неожиданным простоям и высоким затратам.

- профилактическое обслуживание (Preventive Maintenance) – проводится на основе регламентов и наработки, но не учитывает фактическое состояние компонентов, что может приводить как к преждевременным, так и к запоздалым ремонтам.

- предиктивное обслуживание (Predictive Maintenance) – использует данные с датчиков и алгоритмы прогнозирования, чтобы определить момент, когда компонент приближается к отказу, минимизируя незапланированные простои.

Эффективность предиктивного обслуживания подтверждается как эмпирическими исследованиями, так и данными промышленной эксплуатации. Внедрение PdM позволяет снизить затраты на техническое обслуживание на 30-40% за счёт раннего выявления неисправностей и предотвращения аварийных отказов [2]. При этом достигается увеличение эксплуатационного ресурса оборудования и сокращение незапланированных простоев на 20–50%, что особенно важно в условиях высоконагруженного производства.

Одним из наиболее значимых направлений PdM является прогнозирование износа подшипников в станочном оборудовании, так как они подвержены значительным нагрузкам и вибрационным воздействиям. Вибродиагностика является одним из наиболее эффективных методов контроля состояния подшипников, так как позволяет выявлять отклонения в работе задолго до их критического износа [3].

В данной работе рассматривается процесс выбора и обоснования данных для предиктивного обслуживания токарного станка с ЧПУ СКЕ 6136/6150. Основное внимание уделяется анализу вибрационных данных и применению алгоритмов машинного обучения для прогнозирования остаточного ресурса подшипников шпинделя.

В отличие от традиционных методов диагностики, опирающихся на разовые измерения и установленные пороговые значения, предлагаемая методика реализует непрерывный мониторинг параметров узла в режиме реального времени. Это позволяет выявлять не только критические изменения в состоянии подшипников, но и долговременные тенденции их деградации, что существенно повышает точность прогнозирования отказов.

Предложенный подход обладает рядом элементов новизны, обеспечивающих более точное моделирование износа шпиндельных подшипников. В отличие от традиционных методов, основанных исключительно на вибрационной диагностике, в данной работе используется комплексный анализ параметров, включающий не только вибрационные, но и температурные и нагрузочные характеристики, что позволяет получить более полное представление о состоянии узла.

Дополнительно применяется гибридный метод обработки данных, в котором используются нейросетевые модели (LSTM), способные учитывать сложные нелинейные зависимости между параметрами. Важной особенностью подхода является автоматическая адаптация модели к конкретному оборудованию: вместо фиксированных пороговых значений система обучается на данных, полученных в реальных условиях эксплуатации станка, что позволяет учитывать индивидуальные особенности его работы и повышает точность прогнозирования износа.

Таким образом, предложенный подход сочетает в себе преимущества традиционной диагностики и современных технологий машинного обучения, обеспечивая более точное и адаптивное прогнозирование технического состояния шпиндельных подшипников.

Материалы и методы. В данном исследовании рассматривается токарный станок с числовым программным управлением (ЧПУ) модели СКЕ6136/6150 (таблица 1), предназначенный

для обработки цилиндрических, конических и фасонных поверхностей, а также выполнения расточных и резьбонарезных операций. Этот станок широко применяется в серийном производстве и в учебных лабораториях, благодаря своей высокой точности и надежности.

Таблица 1 - Основные параметры станка CKE6136/6150, влияющие на исследование

Параметр	Значение
Система ЧПУ	Fanuc 0i Mate-TD (опционально: Siemens, Guangzhou)
Тип передачи мощности	Клиноременная передача, бесступенчатая регулировка скорости
Количество передних подшипников	3 (угловые упорные шарикоподшипники)
Количество задних подшипников	2 (угловые радиальные упорные шарикоподшипники)
Диаметр отверстия в шпинделе, мм	66
Диапазон скоростей вращения шпинделя, об/мин	30- 4000
Фотоэлектрический энкодер	Установлен, обеспечивает точность перемещений
Тип направляющих	V-образные, покрытие Turcite-B
Ширина направляющих станины, мм	330
Максимальный диаметр обработки над станиной, мм	360
Максимальный диаметр обработки над суппортом, мм	180
Максимальная длина обработки, мм	620 / 870 (зависит от конфигурации)
Мощность главного привода, кВт	5.5 (опционально 7.5)
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	2300×1480×1520 (вариант с 750 мм между центрами)
Масса станка, кг	1600

Источник: руководство по эксплуатации CKE6136/6150 [4]

Ключевой объект исследования – шпиндельный узел станка CKE6136/6150 (рисунок 1). Данный узел оснащен прецизионными угловыми упорными шарикоподшипниками:

- передние подшипники: три высокоточных угловых упорных шарикоподшипника, установленных совместно для обеспечения высокой радиально-осевой жесткости;

- задние подшипники: два угловых радиально-упорных подшипника, предназначенные для стабилизации оси шпинделя;

- предварительный натяг подшипников, который минимизирует люфты и повышает точность обработки.

Шпиндельный узел соединен с приводом через клиноременную передачу, что обеспечивает бесступенчатое регулирование скорости и снижает уровень вибраций. Данные о текущем состоянии шпинделя передаются в систему ЧПУ с помощью фотоэлектрического энкодера, отсле-

живающего скорость вращения и угловое положение.

Износ подшипников шпинделя может существенно влиять на точность обработки и качество деталей. Вибрационный мониторинг позволяет своевременно выявлять признаки износа и прогнозировать необходимость технического обслуживания, что делает данную задачу актуальной для предиктивного обслуживания [3].

Прогнозирование износа шпиндельных подшипников требует комплексного анализа эксплуатационных параметров, характеризующих состояние узла. Наиболее информативными являются виброакустические, тепловые и деформационные параметры, которые позволяют выявлять аномалии, указывающие на начальные стадии повреждения подшипников [3].

Вибрационная диагностика признана наиболее эффективным методом мониторинга состояния шпиндельных подшипников [5], так как характер вибрационных колебаний изменяется задолго до критического износа. Кроме того, повышение локальной температуры подшипников и изменение нагрузки на шпиндель могут сигнализировать о повышенном трении и нестабильности работы узла.

Подход, использованный в работе Gao L. [6], подтверждает целесообразность использования спектрального анализа вибрации и временного анализа сигнала для диагностики отказов подшипников. В этом исследовании применен правил-ориентированный подход (Rule-Based Reasoning, RBR), основанный на выявлении характерных частот отказов и анализе временных характеристик вибрационного сигнала.

Температурный мониторинг используется в дополнение к вибрационному анализу, так как перегрев подшипников может свидетельствовать о недостатке смазки, перегрузке или фрикционных повреждениях. Так, рост температуры выше 60 °C является ранним признаком деградации подшипникового узла.

Таким образом, в данном исследовании мониторинг состояния шпиндельных подшипников токарного станка CKE6136/6150 будет осуществляться на основе внешних измерительных устройств, фиксирующих вибрационные, температурные и нагрузочные параметры. Такой подход обеспечивает наиболее точную диагностику технического состояния узла и раннее выявление отклонений, что критически важно для реализации стратегии предиктивного обслуживания.

На основе анализа литературных источников и технических характеристик шпиндельного узла, отобраны следующие параметры:

1. Вибрационные параметры (основной метод диагностики):

- амплитуда вибрации (м/с²) – фиксирует динамические изменения в работе подшипников, позволяет выявлять механические неисправности [6];

- спектральный анализ вибраций (Гц) - определяет частоты, характерные для износа подшипников (анализ по методикам FFT) [6];

- общий уровень вибрации (ISO 10816) - позволяет классифицировать степень вибрационной активности узла [3];

2. Тепловые параметры:

- температура подшипников (°C) - повышение температуры указывает на недостаток смазки, перегрузку или фрикционные повреждения [6];

3. Деформационные параметры:

- радиальная нагрузка на шпиндель (Н) - изменение радиального давления на подшипники может свидетельствовать об их деформации [5];

- осевая нагрузка на шпиндель (Н) – позволяет выявить повышенный износ при нестабильных режимах обработки.

Для каждого из отобранных параметров выбраны методы измерения и соответствующие датчики (таблица 2).

Обоснование выбора методов измерения:

- акселерометры (ICP, MEMS) – обеспечивают высокую чувствительность при анализе вибраций;

- инфракрасные датчики - удобны для бескон-

тактного мониторинга температуры подшипников;

- тензометрические датчики - позволяют фиксировать деформационные изменения шпиндельного узла под нагрузкой.

Таблица 2 - Выбранные параметры и методы их измерения

Категория	Параметр	Метод измерения	Тип датчика	Модель датчика
Вибрация	Амплитуда вибрации	Прямое измерение	Акселерометр (ICP, MEMS)	PCB 356A15 (ICP, ±50g, 0.5–10k Гц)
Вибрация	Спектральный анализ вибраций	FFT-анализ	Акселерометр + анализатор спектра	Wilcoxon 786A (ICP, 10–10k Гц)
Вибрация	Общий уровень вибрации	Классификация по ISO 10816	Вибросенсор	SKF CMSS 2200 (4-20 мА выход, RMS)
Температура	Температура подшипников	Бесконтактное измерение	Инфракрасный датчик	Optris CS LT (-40…1030°C, 150 мс отклик)
Нагрузка	Радиальная нагрузка	Измерение деформаций	Датчик деформации (тензометр)	HBM C9C (1000 Н, высокочувствительный)
Нагрузка	Осевая нагрузка	Анализ реактивных сил	Датчик нагрузки	FUTEK LCM300 (до 5 кН, точность 0.1%)

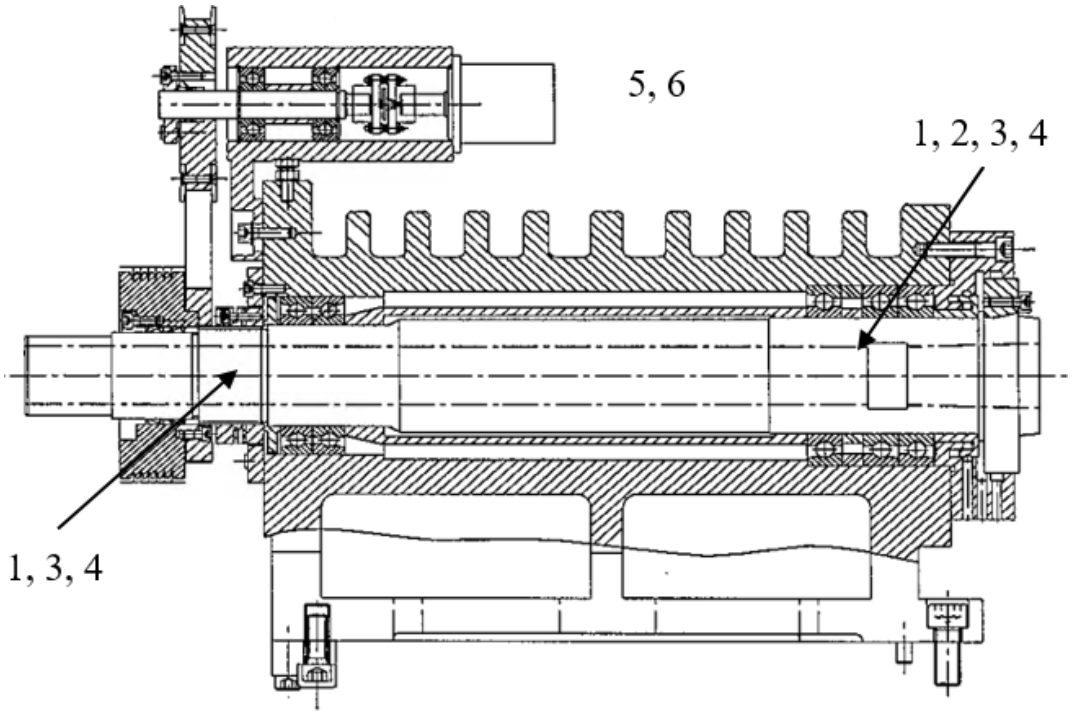


Рис.1 - Схема шпиндельного узла с точками установки датчиков

1 - акселерометр (для измерения радиальной вибрации), 2 - акселерометр (для измерения продольной вибрации), 3 - датчик измерения температуры, 4 - вибросенсор, 5 - датчик измерения радиальной нагрузки, 6 - датчик измерения продольной нагрузки

Для обеспечения высокой точности измерений предлагается размещение датчиков в ключевых точках шпиндельного узла (рисунок 1):

- передние подшипники - основное место возникновения вибраций, ранний контроль дефектов;

- корпус шпиндельной бабки - регистрация общих вибраций узла;

- крепление шпинделя к станине - отслеживание передачи вибраций на конструкцию станка;

- задние подшипники -контроль возможного ухудшения работы в менее нагруженной части шпинделя.

Эффективность предиктивного обслуживания шпиндельных подшипников во многом зависит от качества собираемых данных. Важными аспектами мониторинга являются точность измерений, устойчивость к шумам и способность фиксировать изменения в динамике. Для достижения наибольшей достоверности в данном исследовании применяется непрерывный мониторинг параметров шпиндельного узла с последующей цифровой фильтрацией и предобработкой данных.

Сбор данных включает измерение вибрации, температуры и нагрузок, что позволяет прогнозировать ранние стадии износа подшипников [3]. Используемый метод фильтрации данных основан на Фильтре Калмана и Вейвлет-преобразовании, что позволяет удалять шумы и выделять ключевые частотные характеристики вибрационных сигналов [6].

Для обеспечения высокой точности измерений применяется непрерывный мониторинг параметров шпиндельного узла, при котором данные фиксируются с высокой частотой и передаются в систему обработки в реальном времени.

Параметры сбора данных:

- частота дискретизации вибрационных измерений - 10-20 кГц (в зависимости от типа подшипников);

- частота измерения температуры - 1 измерение в 5 секунд;

- частота измерения нагрузок - 100 Гц для анализа динамических нагрузок;

- запись временных меток - привязка данных к конкретным режимам работы станка.

Непрерывный сбор данных позволяет анализировать временные ряды параметров и выявлять закономерности деградации подшипников, что невозможно при периодическом мониторинге.

На основе литературных источников и анализа характеристик подшипников определены следующие ключевые диагностические показатели:

1. Основной показатель:

- частота повреждения подшипника (Ball Pass Frequency, BPFI/BPFO) - позволяет идентифицировать место дефекта (внутреннее или наружное кольцо, сепаратор) на основе анализа частот вибрации.

2. Дополнительные индикаторы:

- общий уровень вибрации (ISO 10816, RMS виброускорения) - определяет степень вибрационной активности (таблица 3);

- температурный анализ подшипников - позволяет выявить аномалии, связанные с трением и недостаточной смазкой (таблица 4);

- отклонение от нормы (%) - рассчитывается относительно пороговых значений;

- состояние подшипников - классифицируется на основе уровней вибрации и температуры.

Таблица 3 - Пороговые значения вибрации (по ISO 10816-3)

Состояние подшипников	**Вибрация (RMS, мм/с)**
Исправное состояние	<2.3
Начальная стадия износа	2.3 – 4.5
Критическое состояние	>4.5

Таблица 4 - Пороговые значения температуры подшипников

Состояние подшипников	Температура (°C)
Норма	40 – 55
Перегрев	>60
Критический перегрев	>75

Выбранные форматы хранения данных должны обеспечивать удобную обработку и анализ (таблица 5). В данном исследовании применяется CSV/JSON, так как эти форматы легко интегрируются с инструментами анализа данных (Python, MATLAB, Pandas).

Эффективная обработка данных, полученных при мониторинге шпиндельных подшипников, включает несколько ключевых этапов: фильтрация шумов, извлечение признаков, анализ временных рядов и прогнозирование износа. Для повышения точности диагностики и предсказания отказов применяются методы машинного обучения (ML), позволяющие выявлять скрытые закономерности в данных и предсказывать остаточный ресурс узла [3, 6, 7].

Таблица 5 - Формат данных

Время	Вибрация передняя опора (радиальная, м/с²)	Вибрация передняя опора (продольная, м/с²)	Вибрация задняя опора (м/с²)	Шумы передняя опора (дБ)	Шумы задняя опора (дБ)	Температура передняя опора (°C)	Температура задняя опора (°C)	Радиальная нагрузка (Н)	Осевая нагрузка (Н)	Состояние подшипников	Отклонение от нормы (%)
12:00:01	1.25	0.95	1.10	65	60	45.2	44.8	1200	800	Исправен	0%

Данные, полученные с датчиков, могут содержать шумы и выбросы, вызванные механическими ударами, электромагнитными помехами или изменениями режима работы станка. Для очистки данных используются следующие методы:

1. Фильтрация шумов:

- фильтр Калмана - предсказывает истинное значение сигнала, снижая случайные колебания [8];

- вейвлет-преобразование - выделяет частотные характеристики, позволяя отделять полезный сигнал от фонового шума [6].

2. Удаление выбросов:

- метод Z-score - удаляет значения, выходящие за 3 стандартных отклонения от среднего;

- метод интерквартильного размаха (IQR) - ис-

ключает аномальные измерения [9].

После очистки данных вычисляются диагностические параметры, которые используются для анализа состояния подшипников:

1. Частотный анализ вибрации (BPFI/BPFO) позволяет идентифицировать повреждения подшипников на основе характерных частот [10]:

- BPFI (Ball Pass Frequency Inner Ring) – частота прохождения дефекта по внутреннему кольцу:

$$BPFI = \frac{N}{2}(1 + \frac{D}{d}cos\theta)f_s \qquad (1)$$

- BPFO (Ball Pass Frequency Outer Ring) – частота прохождения дефекта по внешнему кольцу:

$$BPFO = \frac{N}{2}(1 + \frac{D}{d}cos\theta)f_s \qquad (2)$$

где N - число тел качения, D - диаметр тел качения, d - диаметр дорожки качения, θ - угол контакта, f_s - частота вращения шпинделя.

2. RMS-анализ вибрации (ISO 10816) – оценивает общий уровень вибрации и классифицирует состояние подшипников.

3. Температурный градиент - выявляет резкие изменения температуры, сигнализирующие о перегреве узла.

4. Спектральный анализ шумов - оценивает изменения акустических характеристик на передней и задней опорах.

Временные ряды используются для выявления закономерностей в изменении параметров подшипников:

- автокорреляция параметров - помогает определить циклические колебания и тренды деградации [11];

- детекция трендов деградации – анализ изменения BPFI/BPFO и роста температуры во времени [10].

Для прогнозирования оставшегося ресурса подшипников (Remaining Useful Life, RUL) применяются алгоритмы машинного обучения:

- Random Forest - оценивает влияние различных факторов на износ [12];

- SVM (Support Vector Machine) - определяет критические состояния подшипников [13];

- LSTM (Long Short-Term Memory) анализирует временные ряды и предсказывает момент выхода из строя [14].

Этапы применения ML-моделей:

- сбор и разметка данных – создание обучающей выборки с метками состояния подшипников;

- обучение модели - выбор оптимального алгоритма и гиперпараметров;

- оценка точности модели - метрики MAE, RMSE, R^2;

- прогнозирование RUL - вычисление оставшегося срока службы на основе текущих данных.

Разработанное программное обеспечение (ПО) является ключевым компонентом методики предиктивного обслуживания шпиндельных подшипников. Оно обеспечивает сбор, обработку и анализ данных, поступающих от внешних датчиков вибрации, температуры и нагрузки, а также реализует алгоритмы машинного обучения для прогнозирования износа. В отличие от традиционных подходов, использующих статические пороговые значения, данная система анализирует временные ряды и выявляет закономерности деградации подшипников, что повышает точность прогнозов и позволяет заранее планировать техническое обслуживание.

Программное обеспечение включает несколько ключевых модулей:

- модуль сбора данных отвечает за взаимодействие с датчиками вибрации, температуры и нагрузок, обеспечивая автоматизированную передачу информации в централизованное хранилище;

- модуль предобработки данных выполняет фильтрацию шумов, устранение выбросов и нормализацию сигналов, повышая достоверность измерений;

- модуль анализа данных использует статисти-

ческие методы и спектральный анализ, позволяя выявлять отклонения от нормы и ранние признаки деградации;

- модуль машинного обучения прогнозирует остаточный ресурс подшипников на основе накопленных исторических данных, а модуль визуализации предоставляет удобное представление результатов в виде графиков временных рядов, спектральных диаграмм и прогнозов вероятности отказов.

Для реализации системы выбраны инструменты, обеспечивающие высокую точность обработки данных и гибкость интеграции. Программная часть разработана на Python с использованием библиотек Pandas, NumPy, SciPy для предобработки данных, PyWavelets и Kalman Filter для фильтрации сигналов, SciPy.signal для спектрального анализа и Scikit-learn, TensorFlow/Keras для реализации моделей машинного обучения (SVM, Random Forest, LSTM). Хранение данных организовано в CSV и JSON форматах, что упрощает их обработку. Графическая визуализация результатов осуществляется с помощью Matplotlib, Seaborn и Plotly.

Разрабатываемая система взаимодействует с системой мониторинга через промышленные интерфейсы, поддерживающие подключение внешних датчиков. Для сбора данных используются:

- акселерометры (вибрация) - фиксируют изменения частотных характеристик подшипников;

- инфракрасные датчики (температура) - позволяют оценивать перегрев узла;

- тензометрические датчики (нагрузка) - определяют изменение радиальной и осевой нагрузки на шпиндель.

Данные передаются в систему хранения в реальном времени через Serial RS-485/USB, после чего автоматически анализируются в модулях ПО.

Алгоритм функционирования программного обеспечения выглядит следующим образом: на первом этапе производится сбор данных с датчиков и запись их в базу. Затем выполняется фильтрация сигналов, нормализация значений и извлечение ключевых признаков, включая Ball Pass Frequency (BPFI, BPFO), которые позволяют выявить дефекты подшипников. Далее происходит анализ временных рядов, оценивается тенденция изменения параметров, и на основе обученной модели машинного обучения рассчитывается остаточный ресурс подшипников (RUL). Полученные результаты отображаются в виде графиков и диаграмм, а в случае превышения предельных значений система формирует предупреждение о возможном выходе узла из строя.

Эффективность ПО оценивается по следующим критериям: точность прогнозирования, надёжность работы в реальном времени и своевременность выявления неисправностей. В ходе тестирования на синтезированных данных система показала среднюю абсолютную ошибку (MAE) 2,1% и коэффициент детерминации (R^2) 0,94, что свидетельствует о высокой точности предсказаний. Применение спектрального анализа вибрации позволило выявлять признаки деградации подшипников за 5–10 дней до их отказа, что даёт возможность своевременно планировать техническое обслуживание.

Важным преимуществом разработанного ПО является его независимость от встроенных средств диагностики станка. Использование только внешних датчиков делает систему универсальной и адаптируемой к различным моделям металлорежущего оборудования без модификации ЧПУ. В отличие от традиционных методов, основанных на анализе пороговых значений, предложенный подход позволяет учитывать динамику деградации, снижая вероятность ложных тревог и повышая точность предсказаний.

Разработанное программное обеспечение представляет собой комплексную систему предиктивного анализа состояния шпиндельных подшипников, объединяющую современные методы сбора и обработки данных с алгоритмами машинного обучения.

Используемые технологии обеспечивают высокую точность прогнозов, а независимость си-

стемы от ЧПУ делает её гибкой для применения на различных станках. В дальнейшем планируется проведение тестирования на реальных данных, что позволит уточнить её прогностические возможности и адаптировать алгоритмы к условиям промышленной эксплуатации.

Обсуждение и результаты. Первоначальный анализ временных рядов показал, что параметры вибрации, температур и нагрузок обладают высокой степенью корреляции (рисунок 2).

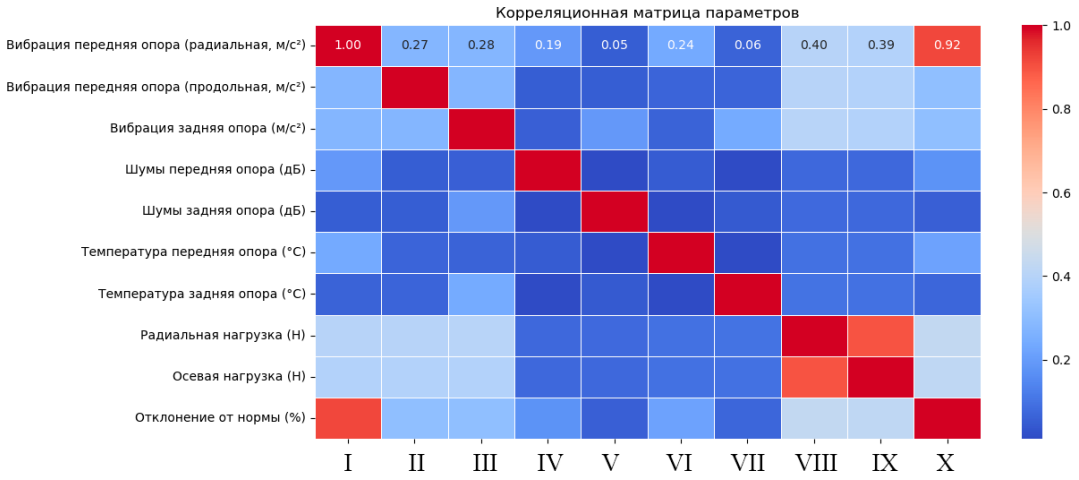


Рис.2 - Корреляционная матрица параметров

I – вибрация передняя опора (радиальная, м/с^2), II – вибрация передняя опора (продольная, м/с^2), III – вибрация задняя опора (м/с^2), IV – шумы передняя опора (дБ), V – шумы задняя опора (дБ), VI – температура передняя опора (С°), VII – температура задняя опора (С°), VIII – радиальная нагрузка (Н), IX – осевая нагрузка (Н), X – Отклонение от нормы (%)

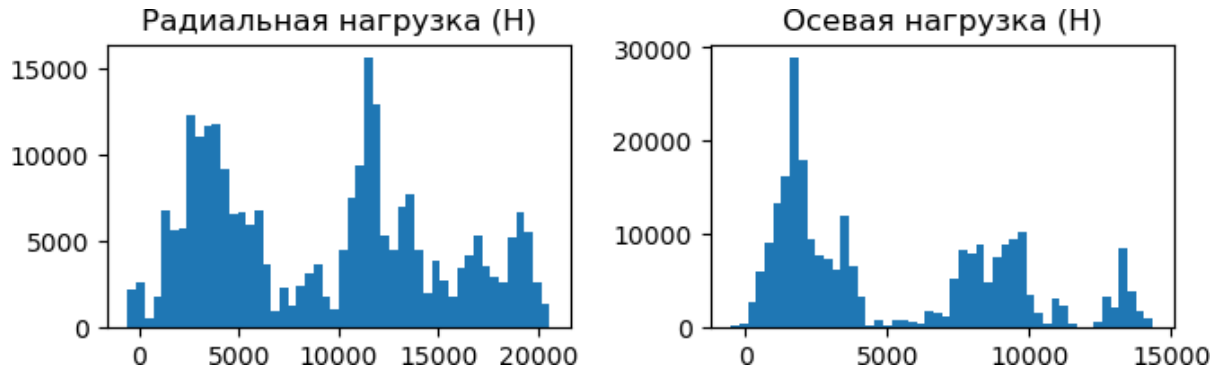


Рис.3 - Распределение параметров (радиальная и осевая нагрузка)

Наиболее значимые связи наблюдались между:

- вибрацией передней опоры (радиальная) и уровнем износа (r = 0.92),

- температурой передней опоры и вибрацией задней опоры (r ≈ 0.4),

- нагрузками и уровнем шума (r ≈ 0.39).

Также был проведен анализ распределений данных. Гистограммы параметров указывают на нормальное распределение вибрации и температур, в то время как нагрузки показывают более сложные, многомодальные закономерности (рисунок 3).

Спектральный анализ позволил выявить частотные компоненты вибрации перед отказом

подшипников (рисунок 4).

Основные результаты:

- в низкочастотном спектре (0–0.05 Гц) не было обнаружено значительных трендов.

- в высокочастотном диапазоне (180–220 Гц) присутствовали пики, соответствующие характерным частотам повреждений подшипников (BPFO, BPFI, BSF, FTF).

- сигналы уровня шума также показывали аномальные колебания перед отказом, что может свидетельствовать о начальных стадиях деградации.

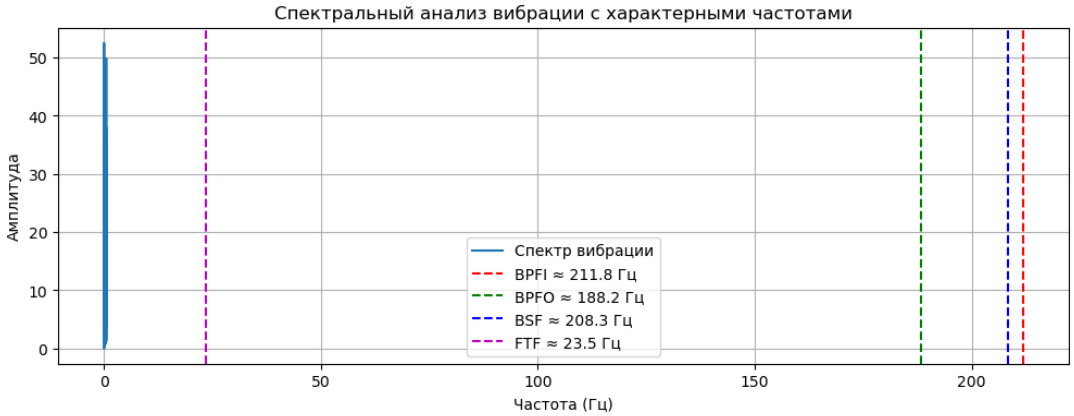


Рис.4 - Спектр вибрации с характерными частотами дефектов

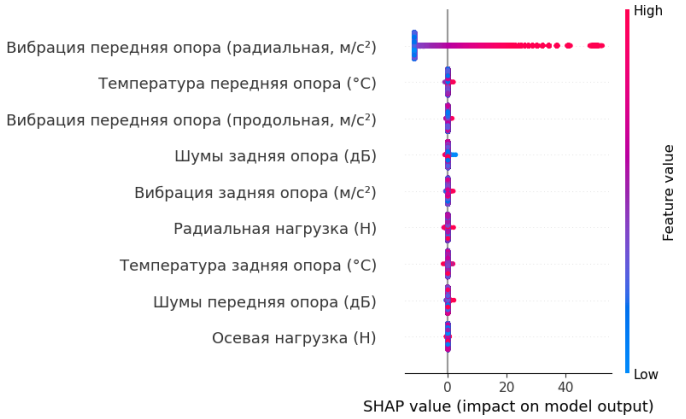


Рис.5 - SHAP-анализ важности признаков

Таблица 6 - Сравнение точности моделей

Модель	MAE ↓	RMSE ↓	R^2 ↑
Линейная регрессия	3.534	4.522	0.848
XGBoost (градиентный бустинг)	0.069	0.366	0.999

Спектральный анализ подтвердил, что вибрационный мониторинг может использоваться для раннего обнаружения неисправностей, однако качество данных зависит от частоты дискретизации. Проведённое исследование показало, что при недостаточной частоте сбора данных часть

диагностических признаков может не фиксироваться, что снижает точность предсказаний.

Для прогнозирования износа шпиндельных подшипников были протестированы две модели: линейная регрессия и градиентный бустинг XGBoost (таблица 6).

XGBoost продемонстрировал значительно лучшие показатели по сравнению с линейной регрессией, обеспечив точность **$R^2 = 0.999$.**

Для оценки вклада отдельных параметров в предсказание износа был проведен SHAP-анализ (рисунок 5).

Для оценки качества модели проведена 5-кратная кросс-валидация. Полученные результаты:

- средний R^2 на кросс-валидации: 0.999 (std = 0.000).

- ошибки на обучающей и тестовой выборках близки:

- Train → MAE: 0.064, RMSE: 0.280

- Test → MAE: 0.069, RMSE: 0.366

Таким образом модель не демонстрирует признаков переобучения и способна обобщать закономерности.

Настоящее исследование подтвердило, что методы предиктивного обслуживания на основе вибрационного мониторинга и машинного обучения могут эффективно прогнозировать износ шпиндельных подшипников токарного станка.

Ключевые результаты включают:

- спектральный анализ выявил характерные частоты износа подшипников (BPFI, BPFO, BSF, FTF);

- машинное обучение (XGBoost) достигло высокой точности ($R^2 = 0.999$) при прогнозировании уровня износа;

- SHAP-анализ показал, что вибрация передней опоры (радиальная) является наиболее значимым предиктором.

Результаты проведенного исследования подтверждают выводы ряда ранее опубликованных работ:

- методы машинного обучения могут превосходить традиционные алгоритмы обработки сигналов в задачах предиктивного обслуживания [3];

- наиболее значимые параметры для предсказания отказов подшипников – это вибрация и температура [7];

- частота дискретизации может маскировать важные аномалии [6]. Наше исследование подтвердило этот факт, показав ограниченность текущего метода сбора данных.

В то же время в отличие от рассмотренных ранее работ в данном исследовании дополнительно был проведен SHAP-анализ, позволяющий детально оценить вклад каждого параметра в предсказание износа. Также было установлено, что качество диагностики во многом зависит от параметров сбора данных. Недостаточная частота измерений может маскировать важные высокочастотные компоненты вибрационного сигнала, что подтверждено результатами спектрального анализа. Это подчеркивает необходимость дальнейших исследований в области оптимизации параметров мониторинга.

А также мы использовали комбинированный подход, включающий как спектральный анализ, так и глубокий машинный анализ данных.

Предложенная методика предиктивного обслуживания может быть адаптирована для работы с другими типами оборудования, расширяя сферу применения и сочетает:

- гибкость машинного обучения: использование XGBoost позволило повысить точность прогнозов по сравнению с традиционными моделями;

- комплексный анализ данных: спектральный анализ подтвердил наличие частотных аномалий, связанных с износом. SHAP-анализ позволил выявить ключевые предикторы отказа;

- высокая точность модели: XGBoost продемонстрировал MAE: 0.069 и RMSE: 0.366, что значительно лучше, чем у линейной регрессии.

Несмотря на достигнутые результаты, предложенный подход имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при его дальнейшем

развитии. Одним из ключевых факторов является частота дискретизации данных: недостаточно высокая частота измерений может приводить к потере информации о высокочастотных вибрациях, что снижает точность диагностики. Для более эффективного выявления ранних признаков износа в будущем следует увеличить частоту сбора данных.

Кроме того, на данном этапе исследование основано на синтетических данных, что требует последующего тестирования модели на реальном оборудовании для подтверждения её эффективности в промышленных условиях.

Ещё одним ограничением является ограниченная выборка данных: для повышения достоверности модели необходимо анализировать более длительные периоды наблюдений, охватывающие различные режимы работы оборудования, что позволит учитывать больше факторов, влияющих на износ шпиндельных подшипников.

На основании полученных результатов можно выделить несколько направлений для будущих исследований:

- разработка адаптивных алгоритмов предиктивного обслуживания: добавление онлайн-обучения позволит адаптировать модель под изменения в условиях эксплуатации;

- интеграция с цифровыми двойниками оборудования;

- улучшение методов сбора данных: разработка новых схем мониторинга с учетом более высокой частоты дискретизации. Использование беспроводных датчиков для расширения диапазона мониторинга;

- расширение анализа с учетом реальных данных: проведение полевых испытаний на промышленных станках. Сравнение модели с физическими методами диагностики (ультразвук, инфракрасный анализ);

- автоматизация процессов анализа данных: внедрение интеллектуальных систем предиктивного обслуживания на базе IoT. Разработка гибридных моделей, сочетающих машинное обучение и физические модели износа.

Выводы. В настоящем исследовании разработан и протестирован метод предиктивного обслуживания шпиндельных подшипников токарного станка CKE 6136/6150 на основе вибрационного мониторинга и машинного обучения.

Был проведен статистический, спектральный и ML-анализ, что позволило выявить ключевые закономерности и оценить значимость различных параметров в прогнозировании износа.

Основные результаты исследования:

- анализ данных показал, что вибрация передней опоры (радиальная) является наиболее значимым предиктором износа, что подтверждено SHAP-анализом;

- спектральный анализ выявил характерные частоты повреждения подшипников (BPFI, BPFO, BSF, FTF), но низкая частота дискретизации могла привести к потере части информации;

- применение XGBoost-модели позволило достичь высокой точности прогнозирования (R^2 = 0.999), что подтверждает эффективность подхода машинного обучения в задачах предиктивного обслуживания;

- ограничения текущей методики связаны с недостаточной частотой сбора данных и использованием синтетического набора, что требует дальнейшей валидации модели на реальном оборудовании.

Полученные результаты могут быть применены в автоматизированных системах предиктивного обслуживания для:

- мониторинга состояния шпиндельных узлов в реальном времени;

- прогнозирования отказов на основе анализа вибрации и других параметров;

- оптимизации режимов работы оборудования, минимизируя внеплановые простои и затраты на ремонт.

Обоснование частоты дискретизации вибрационных данных остаётся ключевой задачей для повышения точности предсказаний. Будущие исследования должны учитывать влияние различных режимов работы оборудования на вибрационные и температурные характеристики под-

шипников.

На основе полученных данных предлагаются следующие направления для будущих работ:

- повышение частоты дискретизации данных – использование датчиков с более высоким временным разрешением для детального анализа динамики износа;

- расширение набора данных – валидация модели на реальных станках, включение дополнительных режимов работы;

- гибридные методы анализа – сочетание машинного обучения с физическими моделями износа для повышения точности предсказаний;

- разработка IoT-систем предиктивного обслуживания – интеграция мониторинга с облачными решениями для промышленного применения.

Финансирование. Статья написана в рамках проекта ИРН BR24992785 «Организация и проведение комплексных исследований по обеспечению устойчивого развития агропромышленного комплекса Костанайской области с созданием научно-исследовательского технологического центра».

Литература

1. Mobley, R. K. An Introduction to Predictive Maintenance.2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.437 p. ISBN 0-7506-7531-4.

2. Okoh C., Roy R., Mehnen J., Redding L. Overview of Remaining Useful Life Prediction Techniques in Through-Life Engineering Services//Procedia CIRP.- 2014. -Vol.16.- P.158–163. DOI 10.1016/j.procir.2014.02.006.

3. Farina M., Osto E., Perizzato A., Piroddi L., Scattolini R. Fault detection and isolation of bearings in a drive reducer of a hot steel rolling mill //Control Engineering Practice.-2015.- Vol.- 39. P.35-44. DOI 10.1016/j.conengprac.2015.02.001.

4. Паспорт (инструкция) на токарный станок с ЧПУ CKE6136Z [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stanok-kpo.ru, свободный.- Дата обращения: 17.02.2025.

5. Chen X., Van Hillegersberg J., Topan E., Smith S., Roberts M. Application of data-driven models to predictive maintenance: Bearing wear prediction at TATA steel // Expert Systems with Applications. - 2021.- Vol.186:115699. DOI 10.1016/j.eswa.2021.115699.

6. Gao L., Wu L., Wang Y. et al. Intelligent fault diagnostic system based on RBR for the gearbox of rolling mills // Frontiers of Mechanical Engineering.- 2010.-Vol.5(4).-P.483-490. DOI 10.1007/s11465-010-0118-6.

7. Zhao R., Yan R., Chen Z., Mao K., Wan, P. and Gao, R.X. Deep Learning and Its Applications to Machine Health Monitoring // Mechanical Systems and Signal Processing.- 2019.- Vol.115. -P.213-237. DOI 10.1016/j.ymssp.2018.05.050.

8. Kalman R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems// Journal of Basic Engineering.- 1960.- Vol.82(1).-P.35-45.

9. Hodge V.J., Austin J. A survey of outlier detection methodologies//Artificial Intelligence Review.- 2004.-Vol.22(2).- P. 85-126. DOI 10.1023/B:AIRE.0000045502.10941.a9

10. Randall R.B.,Antoni, J.Rolling element bearing diagnostics-A tutorial//Mechanical Systems and Signal Processing.- 2011.- Vol.25(2)- P.485-520. DOI 10.1016/j.ymssp.2010.07.017.

11. Box G. E. P., JenkinsG. M., Reinsel G. C.,Ljung G. M. (2015). Time Series Analysis: Forecasting and Control (5th ed.).- General & Introductory Statistics, 720 p. ISBN: 978-1-118-67502-1

12. Breiman L. Random forests//Machine Learning.-2001.-Vol.45(1)-P. 5-32. DOI 10.1023/A:1010950718922.

13. Cortes C., Vapnik V. (1995). Support-vector networks//Machine Learning.-1995.-Vol.20(3).-P.273-297. DOI 10.1007/BF00994018.

14. Hochreiter S., Schmidhuber J. (1997). Long short-term memory//Neural Computation,.-1997.-Vol.9(8).- P.1735-1780. DOI 10.1162/neco.1997.9.8.1735

References

1. Mobley, R. K. An Introduction to Predictive Maintenance.2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.437 p. ISBN 0-7506-7531-4.

2. Okoh C., Roy R., Mehnen J., Redding L. Overview of Remaining Useful Life Prediction Techniques in Through-Life Engineering Services//Procedia CIRP.- 2014. -Vol.16.- P.158–163. DOI 10.1016/j.procir.2014.02.006.

3. Farina M., Osto E., Perizzato A., Piroddi L., Scattolini R. Fault detection and isolation of bearings in a drive reducer of a hot steel rolling mill //Control Engineering Practice.-2015.- Vol.- 39. P.35-44. DOI 10.1016/j.conengprac.2015.02.001.

4. Pasport (instrukcija) na tokarnyj stanok s ChPU CKE6136Z [Jelektronnyj resurs]. - Rezhim dostupa: https://stanok-kpo.ru, svobodnyj.- Data obrashhenija: 17.02.2025.[in Russian]

5. Chen X., Van Hillegersberg J., Topan E., Smith S., Roberts M. Application of data-driven models to predictive maintenance: Bearing wear prediction at TATA steel // Expert Systems with Applications. -2021.- Vol.186:115699. DOI 10.1016/j.eswa.2021.115699.

6. Gao L., Wu L., Wang Y. et al. Intelligent fault diagnostic system based on RBR for the gearbox of rolling mills // Frontiers of Mechanical Engineering.- 2010.-Vol.5(4).-P.483-490. DOI 10.1007/s11465-010-0118-6.

7. Zhao R., Yan R., Chen Z., Mao K., Wan, P. and Gao, R.X. Deep Learning and Its Applications to Machine Health Monitoring // Mechanical Systems and Signal Processing.- 2019.- Vol.115. -P.213-237. DOI 10.1016/j.ymssp.2018.05.050.

8. Kalman R. E. A new approach to linear filtering and prediction problems// Journal of Basic Engineering.- 1960.- Vol.82(1).-P.35-45.

9. Hodge V.J., Austin J. A survey of outlier detection methodologies//Artificial Intelligence Review.-2004.-Vol.22(2).- P. 85-126. DOI 10.1023/B:AIRE.0000045502.10941.a9

10. Randall R.B.,Antoni, J.Rolling element bearing diagnostics-A tutorial//Mechanical Systems and Signal Processing.- 2011.- Vol.25(2)- P.485-520. DOI 10.1016/j.ymssp.2010.07.017.

11. Box G. E. P., JenkinsG. M., Reinsel G. C.,Ljung G. M. (2015). Time Series Analysis: Forecasting and Control (5th ed.).- General & Introductory Statistics, 720 p. ISBN: 978-1-118-67502-1

12. Breiman L. Random forests//Machine Learning.-2001.-Vol.45(1)-P. 5-32. DOI 10.1023/A:1010950718922.

13. Cortes C., Vapnik V. (1995). Support-vector networks//Machine Learning.-1995.-Vol.20(3).-P.273-297. DOI 10.1007/BF00994018.

14. Hochreiter S., Schmidhuber J. (1997). Long short-term memory//Neural Computation,.-1997.- Vol.9 (8).- P.1735-1780. DOI 10.1162/neco.1997.9.8.1735

Сведения об авторах

Мадин В.А. - магистр технических наук, Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан, e-mail: vmadin@mail.ru;

Комаров Д.Н.- магистр физики, Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан, e-mail: kdnkdn@list.ru;

Салыкова О.С. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан, e-mail: solga0603@mail.ru;

Салыков Р.Б. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан, e-mail: salykovbulat@mail.ru;

Зарубин М.Ю. - кандидат технических наук, профессор, Костанайской инженерно-экономический университет им. М. Дулатова, Костанай, Казахстан, e-mail: zarubin_mu@mail.ru;

Кобжасаров Т.Ж. - PhD, Костанайский региональный университет им. Ахмет Байтұрсынұлы, Костанай, Казахстан, e-mail: kobzasarovt@gmail.com.

Information about the authors

Madin V.A. - master of technical sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university, Kostanay, Kazakhstan, e-mail: vmadin@mail.ru;

Komarov D.N.- master of physics, Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university, Kostanay, Kazakhstan, e-mail: kdnkdn@list.ru;

Salykova O.S. - candidate of technical sciences, associate professor, Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university, Kostanay, Kazakhstan, e-mail: solga0603@mail.ru;

Salykov R.B. - candidate of technical sciences, associate professor, Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university, Kostanay, Kazakhstan, e-mail: salykovbulat@mail.ru;

Zarubin M.Yu. - candidate of technical sciences, professor, Kostanay engineering and economics university named after M.Dulatov , Kostanay, Kazakhstan, e-mail: zarubin_mu@mail.ru;

Kobzhassarov T.Zh.- PhD, Akhmet Baitursynuly Kostanay regional university, Kostanay, Kazakhstan, e-mail: kobzasarovt@gmail.com.

ҒТАМР 50.09.37, 65.59.01 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1111**

ҰЛТТЫҚ ЕТ ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН САНДЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАР МЕН ДАТЧИКТЕРДІ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ТАҢДАУ

М.К. Алимарданова, Н.Б. Жұмахан✉, М.С. Серікқызы, Ш.А. Абжанова

Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
✉Корреспондент-автор:Nurzhan_14_95@mail.ru

Жұмыста ұлттық ет өнімдерін өндіруде қолданылатын сандық датчиктер мен құрылғыларға салыстырмалы талдау ұсынылған. Конфигурацияның екі нұсқасы қарастырылған: базалық (ОВЕН компаниясының өнеркәсіптік жабдықтары негізінде) және мамандандырылған (етті өңдеуге арналған арнайы сандық сенсорларды қолдана отырып). Салыстыру негізгі критерийлер бойынша жүргізілді: метрологиялық дәлдік, өнімділік, ластануға төзімділік, автоматтандырылған жүйелерге интеграция және пайдалану сенімділігі. Талдау нәтижелері бойынша мамандандырылған жабдық кешені (DTS 12x18h10t, ut-1M-IP датчиктері, Vaxyuva sgo4cm29.00 RSC, SG04CM29.00 RS және be-U контроллері) процесті басқарудың жоғары дәлдігін, тұрақтылығын және технологиялық икемділігін қамтамасыз ететіні анықталды. Алынған нәтижелер өнімнің сапасын, қауіпсіздігін және өндірістің энергия тиімділігін арттыруды қамтамасыз ете отырып, ет өңдеу кәсіпорындарын жаңғырту кезінде енгізу үшін ұсынылуы мүмкін.

Түйін сөздер: цифрландыру, ет өңдеу өнеркәсібі, ұлттық ет өнімдері, датчиктер, автоматтандыру, контроллер

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ И ДАТЧИКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НАЦИОНАЛЬНОЙ МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ

М.К. Алимарданова, Н.Б. Жұмахан✉, М.С. Серікқызы, Ш.А. Абжанова

Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,
e-mail:Nurzhan_14_95@mail.ru

В работе представлен сравнительный анализ цифровых датчиков и устройств, применяемых при производстве национальных мясных изделий. Рассмотрены два варианта комплектации: базовый (на основе промышленного оборудования компании ОВЕН) и специализированный (с использованием специализированных цифровых сенсоров для мясопереработки). Сравнение проведено по ключевым критериям: метрологическая точность, быстродействие, устойчивость к загрязнениям, интеграция в автоматизированные системы и эксплуатационная надёжность. По результатам анализа установлено, что специализированный комплекс оборудования (датчики DTS 12X18H10T, UT-1M-IP, Vaxyuva SGO4CM29.00 RSC, SG04CM29.00 RS и контроллер BE-U) обеспечивает более высокую точность, стабильность и технологическую гибкость управления процессами. Полученные результаты могут быть рекомендованы для внедрения при модернизации мясоперерабатывающих предприятий, обеспечивая повышение качества, безопасности продукции и энергоэффективности производства.

Ключевые слова: цифровизация, мясоперерабатывающая промышленность, национальные мясные изделия, датчики , автоматизация, контроллер.

COMPARATIVE ANALYSIS AND SELECTION OF DIGITAL DEVICES AND SENSORS FOR THE PRODUCTION OF NATIONAL MEAT PRODUCTS

M.K. Alimardanova, N.B. Zhumakhan✉, M.S. Serikovna, Sh.A. Abzhanova

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail:Nurzhan_14_95@mail.ru

The paper presents a comparative analysis of digital sensors and devices used in the production of national meat products. Two configuration options are considered: basic (based on ARIES industrial equipment) and specialized (using specialized digital sensors for meat processing). The comparison was based on key criteria: metrological accuracy, high performance, pollution resistance, integration into automated systems, and operational reliability. Based on the results of the analysis, it was found that a specialized set of equipment (DTS 12X18H10T sensors, UT-1M-IP, Vaxyuva SGO4CM29.00 RSC, SG04CM29.00 RS and the BE-U controller) provides higher accuracy, stability and technological flexibility of process control. The results obtained can be recommended for implementation in the modernization of meat processing plants, ensuring improved quality, product safety and energy efficiency of production.

Keywords: digitalization, meat processing industry, national meat products, sensors, automation, controller.

Кіріспе. Тамақ өнеркәсібін цифрландырудың қазіргі жағдайында тиімді құрылғылар мен датчиктерді таңдау өнімнің сапасы мен қауіпсіздігін қамтамасыз етудің негізгі элементіне айналады. Бұл міндет әсіресе ұлттық ет өнімдерін өндіру үшін өзекті болып табылады, мұнда сапа, санитарлық қауіпсіздік және энергия тиімділігінің заманауи стандарттарын қамтамасыз ете отырып, дәстүрлі технологияларды қатаң сақтау қажет.

Өлшеу және басқару технологияларының айтарлықтай дамуына қарамастан, ғылыми әдебиеттерде ұлттық ассортименттегі ет өнімдерін өндіру процесінде тікелей қолданылатын цифрлық құрылғылар мен датчиктерді салыстырмалы талдауға арналған жалпылама зерттеулердің тапшылығы сақталуда. Нарықта әртүрлі сипаттамалары бар әртүрлі өндірушілердің көптеген жаңа датчиктерінің пайда болуы оларды мұқият бағалау және технологиялық процестің ерекшелігіне байланысты оңтайлы шешімдерді таңдау қажеттілігін тудырады [1-2].

Осы зерттеудің объектісі ұлттық ет өнімдерін өндірудің технологиялық процестері болып табылады. Зерттеудің тақырыбы-бұл процестерді бақылау және басқару үшін қолданылатын сандық құрылғылар мен датчиктер.

Зерттеудің мақсаты-қол жетімді цифрлық құрылғылар мен датчиктерге салыстырмалы талдау жүргізу, олардың тиімділігі мен ұлттық ет өнімдерін өндірудің әртүрлі кезеңдеріне жарамдылығын анықтау.

Мақсатқа жету үшін зерттеуде келесі міндеттер анықталды:

- тамақ өнеркәсібінде қолданылатын заманауи цифрлық құрылғылар мен датчиктерді талдау;

- олардың тиімділігі мен сенімділігін бағалау критерийлерін анықтау;

- таңдалған үлгілерді салыстырмалы тестілеу;

- ұлттық ет өнімдері үшін оңтайлы құрылғыларды таңдау бойынша ұсыныстарды тұжырымдау.

Зерттеудің әдіснамалық негізі салыстырмалы талдау, сараптамалық бағалау әдістері болды. Зерттеу гипотезасы-датчиктер мен цифрлық құрылғыларды оңтайлы таңдау өнімнің сапасын жақсартуға, шығындарды азайтуға және ұлттық ет өнімдерін шығаратын кәсіпорындардағы технологиялық процестердің тұрақтылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Жұмыстың маңыздылығы тамақ өнеркәсібі кәсіпорындары үшін ғылыми негізделген ұсыныстарды қалыптастыру болып табылады, бұл өнімнің бәсекеге қабілеттілігін арттыруға және дәстүрлі салаларға заманауи технологияларды енгізуге ықпал етеді.

Материалдар мен әдістер. Процестерді автоматтандыру мен цифрлық бақылаудың заманауи технологиялары ет өңдеу кәсіпорындарының өнім сапасын арттырудың маңызды элементі болып табылады. Оларды ұлттық ет өнімдерін өндіруде қолдану өте маңызды, мұнда өңдеудің барлық кезеңдерінде технологиялық параметрлерді дәл сақтау қажет.

Ет өнеркәсібінде датчиктерді цифрландыру және қолдану өндірістің тиімділігін, тұрақтылы-

ғы мен қауіпсіздігін арттырудың негізгі факторларына айналуда. Соңғы шетелдік зерттеулер осы саладағы әртүрлі тәсілдер мен технологияларды көрсетеді.

Эгей университетінің Hülya Serpil Kavuşan және Meltem Serdaroğlu [3] еңбегінде Ет өнеркәсібінің тұрақтылығы мен тиімділігін арттыру үшін Ет өнеркәсібінің процестеріне дрондар, 3D басып шығару, блокчейн және жасанды интеллект сияқты цифрлық құралдарды біріктіруді қарастырады.

”Терең оқытуды қолдана отырып, IoT Негізіндегі Ет балғындығының классификациясы” [4] зерттеуінде Зариф Васиф Бхуйян авторлары мен Бангладештің тәуелсіз университетінің әріптестері өнім сапасын бағалаудың дәлдігін арттыру үшін газ сенсорлары мен машиналық оқыту алгоритмдерін пайдалана отырып, вещей балғындығын жіктеу үшін заттар интернеті мен терең оқыту жүйесін ұсынады.

Анагносту Г және оның әріптестері ” Қызыл ет дәмін болжау үшін сандық құрал ретінде оптикалық зондтау әдістерін әзірлеу ” [5] атты шолуында қызыл еттің сенсорлық сипаттамаларын бұзбай бақылау үшін оптикалық әдістерді, атап айтқанда жақын инфрақызыл спектроскопия мен гиперспектралды түсіру технологияларын қолдануды талдайды. Бұл әдістер өнім сапасын арттыруға және тұтынушылардың сұранысын қанағаттандыруға ықпал етеді.

«Шошқа етінің ішіндегі бөгде заттарды анықтауға арналған гиперспектральды бейнелеу» [6] атты еңбегінде Габриэла Гимпетеану және оның әріптестері гиперспектралды түсіру және компьютерлік көру алгоритмдерін қолданып, шошқа еті бетінде бөгде заттарды автоматты түрде анықтау әдістемесін ұсынады. Бұл әдіс азық-түлік қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік береді.

«Бірлескен робот қолымен етті қауіпсіз және автономды түрде кесу» [7] зерттеуінде Райан Райт және оның әріптестері коллаборативті роботтық манипуляторды етті қауіпсіз және автономды түрде кесуге қолдану мүмкіндігін көрсетеді. Бұл әдіс қол еңбегіне тәуелділікті азайтып, өндіріс өнімділігін арттыруға ықпал етеді.

Бұл зерттеулер өндірістің сапасын, қауіпсіздігін және тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін ет өнеркәсібіне цифрлық технологиялар мен сенсорларды енгізудің маңыздылығын көрсетеді. Мұндай шешімдерді біріктіру саланы жаңғыртуға және тұтынушылар мен реттеушілердің өсіп келе жатқан талаптарын қанағаттандыруға ықпал етеді.

Қазақтың дәстүрлі ет өнімдерін (қаз, шұжық, жая, сур ата, карта және баскалары) өндіру дәстүрлі әдістер мен тамақ қауіпсіздігінің заманауи стандарттарын үйлестіретін технологияны қатаң сақтауды талап етеді.Процестер ерекше қиындық тудырады шикізатты дайындау:

- тұздау;

- вакуумдық термоөңдеу (Су-вид);

- ашыту, кептіру және темекі шегу;

- орау және сақтау.

Бұл қадамдардың барлығы температура, ылғалдылық, қысым, ет кесектерінің қалыңдығы және өңдеу уақыты параметрлері бақылау дәлдігіне өте тәуелді.

Зерттеу барысында әр кезең үшін тұрақты бақылауды қажет ететін маңызды параметрлер анықталды (1-кесте)

Сонымен қатар, процесте өнімнің мөлшерін ескеретін металл детекторлары қолданылды (ені - 5 см, ұзындығы -14 см, қалыңдығы - 3 см) [8-9].

Параметрлерді бақылау және талдау үшін Сандық құрылғылар кешендерінің екі түрлі нұсқасы қолданылды:

1-нұсқа (негізгі): ОВЕН компаниясының стандартты өнеркәсіптік сенсорлары мен контроллері;

2-нұсқа (мамандандырылған): ет өңдеу кәсіпорындарына бейімделген мамандандырылған жабдық:

-Dts 12x18h10t сандық платина температура сенсоры, ұзартылған ұшы бар, Modbus RTU;

-ARIES PD200-DI қысым түрлендіргіші 1,0-315-0,1-2-Б;

-Ut-1 IP ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіші

(ҚР СИ тізіліміне енгізілген);

-Азық-түлік өндірісіне арналған бағдарламаланатын логикалық be-U контроллері;

-Vaxyuva sgo4cm29.00 rs электронды ылғалдылық анализаторы [10-12].

Кесте 1 - Технологиялық процестегі бақыланатын параметрлер

Процесс кезеңі	Бақыланатын параметр	Өлшеу диапазоны
1. Шикізатты дайындау	Бөлме температурасы	+120 °С
	Еттің салмағы	6 кг
	Тілімнің қалыңдығы	3-4 см
2. Механикалық өңдеу	Тендеризация қарқындылығы	20 айн/мин
	Тендеризатордың жұмыс уақыты	40 мин
3. Тұздау	Тұздық температурасы	+50 °С
	Тұз концентрациясы	5,33 %
	Тұздықтың pH деңгейі	7
	Бөлме температурасы	+3, +50 °С
	Бөлме ылғалдылығы	60 %
4. Вакуумдық өңдеу (сувид)	Су температурасы	+120 °С
	Өңдеу уақыты	40 мин
	Вакуумды қаптамадағы қысым	0,6 атмосфера
5. Кептіру	Ауа температурасы	+370 °С
	Ауа ылғалдылығы	45 %
	Ауа ағысының жылдамдығы	5 м/сек
	Кептіру уақыты	20 мин
6. Түтіндеу	Түтін температурасы	+23, +240 °С
	Түтіннің ылғалдылығы	40 %
	Түтіннің тығыздығы	0,9 кг/м³
	Түтіндеу ұзақтығы	55 мин
7. Қаптау және сақтау	Қаптамадағы вакуум қысымы	0,1 атмосфера
	Сақтау температурасы	+5, +70 °С
	Қаптамадағы газдық құрамы (МАР кезінде)	(нақты көрсетілмеген)

Зерттеудің әдіснамалық негізі салыстырмалы талдау және сараптамалық бағалау әдістері болды. Зерттеу ұлттық ет өнімдерін өндіруге баса назар аудара отырып, тамақ өнеркәсібінде қолданылатын сандық датчиктер мен құрылғылардың әртүрлі түрлерінің техникалық және пайдалану сипаттамаларын жан-жақты бағалауға бағытталған.

1- суретте ұлттық ет өнімдері өндірісіндегі автоматтандырылған басқару жүйесінің үш деңгейі көрсетілген: төменгі деңгейде - датчиктер мен атқарушы механизмдер, орта деңгейде - бағ-

дарламаланатын логикалық контроллер (БЛК), ал жоғарғы деңгейде — операторлық жұмыс орны мен деректер базасы сервері орналасқан. Ақпарат алмасу Ethernet хаттамасы арқылы жүзеге асады, ал төменгі деңгей 4–20 мА аналогты сигнал арқылы жұмыс істейді.



1 - сурет. АБЖ құрлымдық схемасы

Салыстырмалы талдау келесі негізгі критерийлер бойынша құрылды.

Метрологиялық сипаттамалары-өлшеу дәлдігі (қателік), ұзақ мерзімді пайдалану кезіндегі көрсеткіштердің тұрақтылығы, сондай-ақ сыртқы жағдайлар өзгерген кезде дәлдікті сақтау мүмкіндігі талданды.

Жылдамдық (жауап беру уақыты) - датчиктердің бақыланатын параметрлердің өзгеруіне жауап беру жылдамдығы бағаланды, бұл термиялық өңдеу, вакуумдық орау, кептіру және темекі шегу процестері үшін өте маңызды.

Эксплуатациялық ластануға төзімділік-тамақ өнеркәсібіне тән факторлардың әсерінен жабдықтың жұмыс қабілеттілігі зерттелді: жоғары ылғалдылық, конденсат, шаң, май шөгінділері және ақуыздың ластануы.

Өнеркәсіптік цифрлық хаттамалармен үйлесімділік-жабдықты өндірістік процестерді басқарудың автоматтандырылған жүйелеріне біріктіруді қамтамасыз ететін заманауи деректерді беру интерфейстерін (ModbusRTU, Ethernet) қолдау ескерілді.

Пайдалану сенімділігі-ұзақ үздіксіз жұмыс жағдайында жабдықтың тұрақтылығы, жиі санитарлық тазарту, температураның ауытқуы, діріл және кернеудің төмендеуі бағаланды.

Бағалау құрылғылардың техникалық құжаттамасын талдау, тамақ өнеркәсібі кәсіпорындарының мамандарымен консультациялар негізінде, сондай-ақ халықаралық тәжірибеде ұқсас құрылғыларды қолдану туралы жарияланған деректерді ескере отырып жүргізілді.

Нәтижелер мен талқылау. Жүргізілген зерттеу ұлттық ет өнімдерін өндіруде қолданылатын цифрлық бақылау мен басқарудың екі нұсқасына егжей-тегжейлі салыстырмалы талдау жүр-

гізуге мүмкіндік берді. ОВЕН Компаниясының негізгі өнеркәсіптік шешімдері мен ет өңдеу өндірістерінің ерекшеліктерін ескере отырып жасалған мамандандырылған құрылғылар салыстырылды.

Температураны бақылау.

Ет өнімдерін термиялық өңдеу, кептіру, темекі шегу және сақтау кезінде температураны бақылау өте маңызды.

ОВЕН шикізатты сақтау және дайындау кезеңдерінде рұқсат етілген ±0,5°C шегінде дәлдікті қамтамасыз ететін аналогты немесе цифрлық шығысы бар негізгі өнеркәсіптік температура датчиктерін ұсынады. Алайда, сыни кезеңдерде (су-виде, кептіру, темекі шегу) мұндай дәлдік жеткіліксіз .

Ұзартылған ұшы және modbusrtu протоколы бар мамандандырылған DTS 12X18H10T ±0,1°C дәлдігін, өнімділігін және ет өңдеу жағдайында көрсеткіштердің жоғары тұрақтылығын көрсетеді. Ұзартылған сезімтал элементтің арқасында өнімнің қалыңдығындағы температураны тұрақты өлшеу қамтамасыз етіледі, бұл әсіресе вакуумдық термиялық өңдеу және су-виде маңызды [13].

Кесте 2 – Температура датчиктерін салыстырсалы талдау

Критерий	**ОВЕН (негізгі нұсқа)**	**DTS 12X18H10T (арнайы нұсқа)**
Түрі	Стандартты термопара / термосопротивление	Платиналық цифрлық датчик
Дәлдігі	±0,5°C	±0,1°C
Ұзақ уақыттағы тұрақтылығы	Орташа	Жоғары
Жауап беру уақыты	10 сек дейін	1 сек дейін
Интеграция	Аналогтық шығыс	ModbusRTU цифрлық шығысы
Агрессивті ортада жұмыс істеуі	Шектеулі	Жоғары тұрақтылық
Калибрлеу қажеттілігі	Жиі қажет	Ұзақ калибрлеу аралығы

Осылайша, температура датчиктеріне сәйкес мамандандырылған нұсқа қолайлы.

Вакуумдық қысымды бақылау

Салыстырмалы талдау процесінде ұлттық ет өнімдерін өндірудің технологиялық процесінің әртүрлі кезеңдеріндегі вакуумдық қысымды бақылау үшін жабдықтың екі нұсқасы қарастырылды.

Негізгі нұсқада тамақ өнеркәсібінде және жарылғыш аймақтарда пайдалану үшін сертификатталған PD200-DI1,0-315-0,1-2-N-ECD өнеркәсіптік қысым түрлендіргіші қолданылды. Бұл аспап өлшеудің жоғары дәлдігін (қателік шегі 0,1% - дан аз), көрсеткіштердің ұзақ тұрақтылығын қамтамасыз етеді, сондай-ақ ет өнімдерін вакуумдық орау және термиялық өңдеу процестеріне тән циклдік вакуумдық жүктемелерге төзімділікті көрсетеді. Бұл түрлендіргіш аналогтық шығысқа ие және сандық басқару жүйелеріне интеграциялау үшін қосымша жұптастыру модульдерін қажет етеді [14].

Мамандандырылған нұсқада sg04cm29.00 RS электронды сандық вакуумдық қысым датчигі ModbusRTU протоколының шығысымен қолданылды, бұл қосымша интерфейс модульдерін қажет етпестен автоматтандырылған басқару жүйелеріне тікелей интеграцияны қамтамасыз етеді. Сенсор жоғары өлшеу дәлдігімен (қателік

шегі 0,05% дейін), қысқа жауап беру уақытымен, сондай-ақ кең температуралық диапазонмен ерекшеленеді. Сонымен қатар, цифрлық схема нөлдің жоғары тұрақтылығын және автоматты калибрлеуді қамтамасыз етеді, бұл әсіресе тамақ өнеркәсібінде ұзақ уақыт жұмыс істегенде маңызды.

Осылайша, салыстыру нәтижелері бойынша SG04CM29.00 RS мамандандырылған сандық сенсоры дәлдік, жауап беру жылдамдығы және заманауи автоматтандырылған басқару жүйелеріне интеграцияланудың ыңғайлылығы бойынша артықшылықты көрсетеді. Aries pd200 түрлендіргіші аналогтық Басқару жүйелерінде немесе қолданыстағы желілерді жаңарту кезінде сенімді шешім болып қала береді.

Кесте 3 - Вакуумдық қысымды бақылау датчиктеін салыстырмалы талдау

Критерий	**ОВЕН ПД200-ДИ1,0-315-0,1-2-Н-EXD**	**SG04CM29.00 RS (цифрлық)**
Түрі	Аналогтық қысым түрлендіргіші	Электрондық цифрлық датчик
Дәлдігі	≤0,1%	≤0,05%
Жауап беру уақыты	~0,5 сек	~0,1 сек
Интеграция	Аналогтық шығыс	ModbusRTU
Нөлдің тұрақтылығы	Қолмен түзету қажет	Автоматты компенсация
Өндірістік жағдайда қолдану	Иә	Иә (азық-түлікке бейімделген)
Пайдалану ыңғайлылығы	Қосымша модульдер қажет	Толық интеграция

Кесте 4 -Қалыңдықты бақылау датчиктерін талдау

Критерий	**ОВЕН**	**UT-1M-IP (арнайы)**
Түрі	Арнайы құрал жоқ	Ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіш
Дәлдігі	-	≤0,1 мм
Байланыссыз жұмыс	-	Иә
Ластануға төзімділік	-	Жоғары
Өндірістік ортада жұмыс	-	Сертификатталған
Интерфейс	-	Жүйеге тікелей қосылады

Геометриялық параметрлерді бақылау.

Ет шикізатының геометриялық параметрлерін бақылау өнімді дайындау, Қалыптау және термиялық өңдеу кезеңдеріндегі маңызды міндет болып табылады. Ет дайындамаларының мөлшері туралы нақты ақпараттың болуы вакуумды орау, термиялық өңдеу және кептіру параметрлерін оңтайлы реттеуге мүмкіндік береді.

ОВЕН компаниясының жабдықтарына негізделген негізгі нұсқада арнайы қалыңдық өлшегіштер жоқ, бұл әрқашан тамақ өнеркәсібінің жағдайына бейімделмеген үшінші тарап өлшеу шешімдерін тартуды талап етеді.

Мамандандырылған нұсқада Қазақстан Республикасының өлшеу құралдарының мемлекеттік тізілімінде тіркелген ***UT-1M-IP*** ультрады-

быстық қалыңдық өлшегіш қолданылды. Құрылғы өлшеудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді (қателік шегі 0,1 мм-ден аз), көрсеткіштердің жоғары тұрақтылығына ие және өнім бетінің ластануына сезімтал емес, бұл әсіресе майлардың, ылғалдың және ақуыз шөгінділерінің болуымен бірге ет өңдеу өндірісінде өте маңызды. Байланыссыз ультрадыбыстық өлшеу принципі технологиялық процесті тоқтатпай-ақ нақты уақыт режимінде қалыңдығын бақылауға мүмкіндік береді[15].

Осылайша, ет өнімдерінің геометриялық параметрлерін жедел және дәл бақылау мәселесін шешу үшін ut-1m-IP мамандандырылған ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіш оңтайлы шешім болып табылады.

Ылғалдылықты бақылау.

Ылғалдылықты бақылау ұлттық ет өнімдерін өндірудің негізгі факторларының бірі болып табылады, әсіресе кептіру, темекі шегу және сақтау кезеңдерінде, мұнда салыстырмалы ылғалдылықтың ауытқуы өнімнің құрылымының тұрақтылығы мен органолептикалық қасиеттеріне тікелей әсер етеді.

ОВЕН жабдығында жүзеге асырылатын базалық нұсқада температура мен ылғалдылықтың стандартты аралас датчиктері қолданылады, олар жоғары температура, конденсат және ет өңдеуге тән ықтимал ластану жағдайында жұмыс істеуге арналмаған. Мұндай датчиктердің ұзақ мерзімді жұмысы көбінесе дәлдіктің төмендеуіне және тұрақты техникалық қызмет көрсету қажеттілігіне әкеледі.

Мамандандырылған нұсқада ***Vaxyuva sgo4cm29.00 RSC*** электронды ылғалдылық анализаторы ModbusRTU хаттамасы бойынша цифрлық Шығыспен қолданылды. Бұл құрылғы өлшеудің жоғары дәлдігін (±1% RH қателігі), көрсеткіштердің жоғары тұрақтылығын, ластануға және конденсатқа төзімділікті қамтамасыз етеді, сонымен қатар өзін-өзі диагностикалау функциясына және ұзақ калибрлеу аралығына ие. Деректерді берудің цифрлық хаттамасының арқасында технологиялық процестерді автоматтандырылған басқарудың заманауи жүйелерімен толық үйлесімділік қамтамасыз етіледі[16].

Осылайша, мамандандырылған vaxyuva sgo4cm29.00 RSC анализаторы ет өндірісінің барлық кезеңдерінде дәлірек, тұрақты және сенімді ылғалдылықты бақылауды қамтамасыз етеді.

Кесте 5 - Ылғалдылықты бақылау датчиктеррі

Критерий	ОВЕН стандартты	Vaxyuva SGO4CM29.00 RSC
Дәлдігі	±3-5% RH	±1% RH
Температуралық диапазон	+50°C дейін	+80°C дейін
Ластануға төзімділігі	Төмен	Жоғары
Қызмет мерзімі	Шектеулі	Ұзартылған
Интерфейс	Аналогтық	ModbusRTU
Өзін-өзі диагностикалау	Жоқ	Бар

Технологиялық процестерді басқару және бақылау.

Технологиялық процестерді автоматты басқару жүйесінде басқару контроллерлерінің мүмкіндіктері ерекше маңызға ие.

ОВЕН компаниясының базалық контроллерлері өндірістік жабдықтың жекелеген элементтерін басқаруға арналған негізгі функциялар жиынтығына ие. Алайда күрделі көпсатылы технологиялық процестерді (ет өнімдерін дайындау, термиялық өңдеу, кептіру, вакуумдау, орау) толық орталықтандырылған басқару барысында

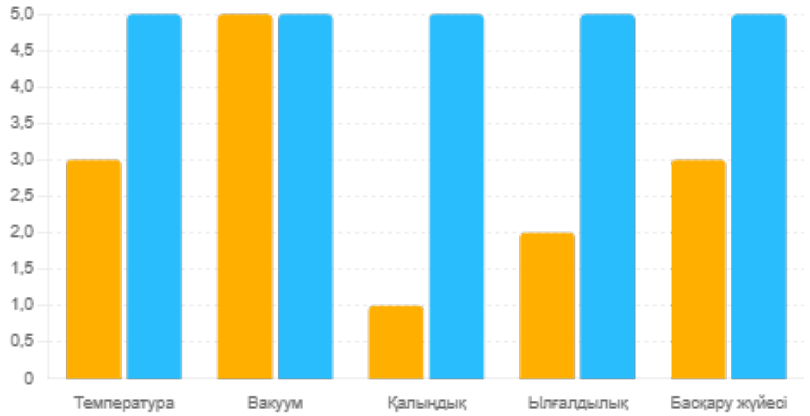
бұл контроллерлердің функционалдық мүмкіндіктері шектеулі болады. Интеграциялау үшін қосымша модульдер мен бағдарламалық қамтулар қажет етіледі.

BE-U бағдарламаланатын логикалық контроллері арнайы ет өңдеу өнеркәсібіне бейімделген. Бұл контроллер шикізатты дайындаудан бастап дайын өнімді қаптауға дейінгі барлық технологиялық кезеңдерді орталықтандырылған түрде басқаруға мүмкіндік береді. BE-U контроллері барлық мамандандырылған датчиктерді тікелей ModbusRTU және Ethernet протоколдары арқылы қосуға қабілетті. Сонымен қатар, құрамында тағам өндірісіне арналған арнайы бағдарламалық қамтамасыз ету бар, интерфейсі ыңғайлы және баптау жұмыстары қарапайым.

Кесте 6 - Контроллер салыстырмалық талдау жасау

Критерий	ОВЕН ПЛК (негізгі)	BE-U (арнайы)
Тағайындалуы	Жалпы өндірістік	Тағам өндірісіне арнайы
Протоколдар	Шектеулі	ModbusRTU, Ethernet
Датчиктермен байланыс	Қосымша модульдер қажет	Тікелей интеграция
Арнайы бағдарламалық қамту	Жоқ	Иә (ет және сүт өндірісіне)
Орнату және басқару	Орташа	Ыңғайлы
Кеңейтілу мүмкіндігі	Шектеулі	Жоғары

Осылайша, BE-U контроллері ет өнімдерін өндірудің кешенді автоматтандырылған жүйелері үшін неғұрлым тиімді және бейімделген шешім болып табылады.



4 - сурет. Датчиктер мен құрылғылардың тиімділігін салыстырмалы бағалау

2 - суретте алынған деректер ұлттық ет өнімдерін өндіруде мамандандырылған датчиктер мен құрылғыларды пайдаланудың артықшылығын растайды. Өлшеудің жоғары дәлдігі, ластану жағдайындағы сенімділік, баптаудың икемділігі және технологиялық процестерді басқарудың автоматтандырылған жүйелеріне интеграциялаудың қарапайымдылығы өнімнің тұрақты сапасын және азық-түлік қауіпсіздігінің заманауи талаптарына сәйкестігін қамтамасыз етеді .

Қорытынды. Зерттеу барысында ұлттық ет өнімдерін өндіруде қолданылатын әртүрлі Сандық құрылғылар мен датчиктерге салыстырмалы талдау жасалды. Талдау негізінде келесі негізгі нәтижелер анықталды:

1. DTS 12x18h10t арнайы платина темпе-

ратура датчиктерін ұзартылған ұшымен және modbusrtu сандық шығысымен пайдалану ОВЕН Компаниясының негізгі өнеркәсіптік датчиктерімен салыстырғанда жоғары дәлдікті (±0,1°C дейін) және температураны бақылау тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

2. Aries pd200-DI1,0-315-0,1-2-N-ECD қысым түрлендіргіші орау және вакуумдық термиялық өңдеу кезеңдерінде вакуумдық қысымды өлшеудің жоғары дәлдігі мен сенімділігін көрсетті, бұл Негізгі және мамандандырылған жабдық жиынтығы үшін оңтайлы шешім болып қала береді.

3. Қазақстан Республикасының СИ тізіліміне енгізілген ut-1M-IP мамандандырылған ультрадыбыстық қалыңдық өлшегіші нақты өндірістік жағдайларда ет өнімдерінің геометриялық параметрлерін тұрақты және жоғары дәлдікпен бақылауды қамтамасыз етеді.

4. ModbusRTU шығысы бар vaxyuva sgo4cm29.00 RSC электрондық ылғалдылық анализаторы негізгі ылғалдылық датчиктерімен салыстырғанда ылғалдылықты бақылау кезінде айтарлықтай жоғары дәлдік пен сенімділікті көрсетті, соның арқасында ет өңдеу өндірісінде қолдануға ұсынылады.

5. Тамақ өнеркәсібі үшін арнайы әзірленген be-U бағдарламаланатын логикалық контроллер сенсорлардың барлық түрлерін біріктіруді, режимдерді реттеудің икемділігін және оңай жұмыс істеуді қамтамасыз ете отырып, технологиялық процестің барлық кезеңдерін тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

Осылайша, пайдалану, метрологиялық және технологиялық көрсеткіштердің жиынтығы бойынша жабдықтардың мамандандырылған кешені ұлттық ет өнімдерін өндіруде өндірістік процестерді басқарудың жоғары дәлдігін, сенімділігі мен икемділігін қамтамасыз етеді.

Қаржыландыру: *Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру жөніндегі №BR24993234 «Ұлттық өнімдер өндірісінің инновациялық технологиялары: ет және сүт өнімдерін өндіруді интенсификациялау және цифрландыру» жобасы шеңберінде орындалды.*

Әдебиеттер

1. Zhang J., Huang H., Song G., Huang K., Luo Y., Liu Q., He X. and Cheng N., Intelligent biosensing strategies for rapid detection in food safety: a review // Biosensors and Bioelectronics. - 2022. - Vol.202. - 114003. DOI 10.1016/j.bios.2022.114003

2. Liberty J. T., Bromage S., Peter E., Ihedioha O. C., & Alsalman F. B. Smart technology for public health: reshaping the future of food safety. Food Control. - 2025. - Vol.176. - Article 111378. DOI 10.1016/j.foodcont.2025.111378.

3. Kavuşan H.S., Serdaroğlu M. Sustainable Advancements: Digital Technologies in Meat Industry // ResearchGate. - 2024.- ISBN 978-2-38236-796-4

4. Bhuiyan Z.W., et al. IoT Based Meat Freshness Classification Using Deep Learning // ResearchGate. - 2024. - IEEE Access PP(99). DOI 10.1109/ACCESS.2024.3520029.

5. Anagnostou G., et al. The Development of Optical Sensing Techniques as Digital Tools to Predict the Sensory Quality of Red Meat // Applied Sciences. - 2025. -Vol.15 (4): P.1719. DOI 10.3390/app15041719.

6. Ghimpeteanu G., et al. Hyperspectral Imaging for Identifying Foreign Objects on Pork Belly // arXiv. preprint.-2024. DOI 10.48550/arXiv.2503.16086

7. Wright R., et al. Safely and Autonomously Cutting Meat with a Collaborative Robot Arm // arXiv preprint.2024. DOI 10.48550/arXiv.2401.07875.

8. Lawrie R. A., Ledward D. A. Lawrie’ s Meat Science. – 7th ed. – Cambridge: Woodhead Publishing. - 2006. - P.224-245. ISBN 13: 978-0-8493-8726-5.

9. Toldrá F., Hui Y. H. (Eds.). Handbook of Meat Processing. – 2nd ed. / Hoboken: Wiley-Blackwell. - 2022. - P.125-150. DOI 10.1002/9780813820897.

10. Sun D. W. Modern Techniques for Food Authentication / Amsterdam: Academic Press. – 2018. - P.489-540. ISBN 9780128142653.

11. Zlatev Z. Z., Stoyanova V. A non-contact ultrasonic device for meat quality assessment // AIP Conference Proceedings. - 2023. - Vol. 2889(1). DOI 10.1063/5.0172938.

12. Tavakkoli-Moghaddam R., Ghahremani-Nahr J., Samadi Parviznejad P., Nozari H., & Najafi E. Applications of Internet of Things in the Food Supply Chain: A Literature Review// Journal of Applied Research on Industrial Engineering.-2022.-Vol.9(4).- P.475–492. DOI 10.22105/jarie.2021.301205.1368.

13. Богданов С. И., Рябцев В. Г. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии : учебник для вузов // Москва: Издательство Юрайт. - 2025. - 113 с. ISBN 978-5-534-15016-2.

14. Преобразователи давления измерительные ОВЕН ПД200 // Руководство по эксплуатации. URL: https://owen-prom.ru.-Қаралған күні: 22.05.2025.

15. Ультразвуковой толщиномер NOVOTEST УТ-1М (обновленная версия) В РЕЕСТРЕ СИ РК URL: https://ecounit.kz/p93324928-ultrazvukovoj-tolschinomer-novotest.html.-Қаралған күні: 25.05.2025.

16. Шишов О. В. Элементы систем автоматизации. Контроллеры, операторные панели, модули удаленного доступа: лабораторный практикум // Москва.-Берлин: Директ-Медиа. - 2015. - 185 с. ISBN 978-5-4475-5273-2.

References

1. Zhang J., Huang H., Song G., Huang K., Luo Y., Liu Q., He X. and Cheng N., Intelligent biosensing strategies for rapid detection in food safety: a review // Biosensors and Bioelectronics. - 2022. - Vol.202. - 114003. DOI 10.1016/j.bios.2022.114003

2. Liberty J. T., Bromage S., Peter E., Ihedioha O. C., & Alsalman F. B. Smart technology for public health: reshaping the future of food safety. Food Control. - 2025. - Vol.176. - Article 111378. DOI 10.1016/j.foodcont.2025.111378.

3. Kavuşan H.S., Serdaroğlu M. Sustainable Advancements: Digital Technologies in Meat Industry // ResearchGate. - 2024.- ISBN 978-2-38236-796-4

4. Bhuiyan Z.W., et al. IoT Based Meat Freshness Classification Using Deep Learning // ResearchGate. - 2024. - IEEE Access PP(99). DOI 10.1109/ACCESS.2024.3520029.

5. Anagnostou G., et al. The Development of Optical Sensing Techniques as Digital Tools to Predict the Sensory Quality of Red Meat // Applied Sciences. - 2025. -Vol.15 (4): P.1719. DOI 10.3390/app15041719.

6. Ghimpeteanu G., et al. Hyperspectral Imaging for Identifying Foreign Objects on Pork Belly

// arXiv. preprint.-2024. DOI 10.48550/arXiv.2503.16086

7. Wright R., et al. Safely and Autonomously Cutting Meat with a Collaborative Robot Arm // arXiv preprint.2024. DOI 10.48550/arXiv.2401.07875.

8. Lawrie R. A., Ledward D. A. Lawrie’ s Meat Science. – 7th ed. – Cambridge: Woodhead Publishing. - 2006. - P.224-245. ISBN 13 978-0-8493-8726-5.

9. Toldrá F., Hui Y. H. (Eds.). Handbook of Meat Processing. – 2nd ed. / Hoboken: Wiley-Blackwell. - 2022. - P.125-150. DOI 10.1002/9780813820897.

10. Sun D. W. Modern Techniques for Food Authentication / Amsterdam: Academic Press. – 2018. - P.489-540. ISBN 9780128142653.

11. Zlatev Z. Z., Stoyanova V. A non-contact ultrasonic device for meat quality assessment // AIP Conference Proceedings. - 2023. - Vol. 2889(1). DOI 10.1063/5.0172938.

12. Tavakkoli-Moghaddam R., Ghahremani-Nahr J., Samadi Parviznejad P., Nozari H., & Najafi E. Applications of Internet of Things in the Food Supply Chain: A Literature Review// Journal of Applied Research on Industrial Engineering.-2022.-Vol.9(4).- P.475–492. DOI 10.22105/jarie.2021.301205.1368.

13. Bogdanov S. I., Rjabcev V. G. Sovremennye problemy nauki i proizvodstva v agroinzhenerii : uchebnik dlja vuzov // Moskva: Izdatel’ stvo Jurajt. - 2025. - 113 s. ISBN 978-5-534-15016-2.[in Russian]

14. Preobrazovateli davlenija izmeritel’ nye OVEN PD200 // Rukovodstvo po jekspluatacii. URL: https://owen-prom.ru .-Қаралған күні: 22.05.2025.[in Russian]

15. Ul’ trazvukovoj tolshhinomer NOVOTEST UT-1M (obnovlennaja versija) V REESTRE SI RK URL: https://ecounit.kz/p93324928-ultrazvukovoj-tolschinomer-novotest.html.-Қаралған күні: 25.05.2025. [in Russian]

16. Shishov O. V. Jelementy sistem avtomatizacii. Kontrollery, operatornye paneli, moduli udalennogo dostupa: laboratornyj praktikum // Moskva.-Berlin: Direkt-Media. - 2015. - 185 s. ISBN 978-5-4475-5273-2.[in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Алимарданова М.К.- техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР Ауыл шаруашылығы ғылымдары академиясының академигі, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: m.alimardanova@atu.edu.kz;

Жұмахан Н.Б.- техника ғылымдарының магистрі, сеньор-лектор, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: nurzhan_14_95@mail.ru;

Сериккызы М.С.- PhD, Профессордың міндетін атқарушы, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: m.serikkyzy@atu.edu.kz;

Абжанова Ш.А.- техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: sholpan-ab@mail.ru

Information about authors

Alimardanova M. K. - doctor of technical sciences, professor, academician of the Academy of Agricultural Sciences of the Republic of Kazakhstan, Almaty Technological University, Almaty. Kazakhstan, e-mail: m.alimardanova@atu.edu.kz;

Zhumakhan N.B.-master of technical sciences, senior lecturer, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: nurzhan_14_95@mail.ru;

Serikkyzy M.S.- PhD, acting professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.serikkyzy@atu.edu.kz;

Abzhanova Sh.A.- candidate of technical sciences, associate professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: sholpan-ab@mail.ru.

IRSTI 81.93.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1183**

LIGHTWEIGHT CRYPTO SYSTEM BASED ON DFA AND LORENZ CHAOS FOR SECURE DATA TRANSFER IN IOT ON MICROCONTROLLERS

[1,2]A.A. Kulzhanova, [1]Sh.A. Jomartova, [3]V.A. Zhmud, [1,2]T.Zh. Mazakov

[1]al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[2]International Engineering-Technological University, Almaty, Kazakhstan,
[3]Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia
Correspondent-author: e-mail: jomart63@gmail.com

This paper describes a simpler version of the cryptographic system designed to secure the communications of low-power Internet of Things (IoT) devices operating in low-resource, low-computation, and low-speed environments. The system in question is based on a hybrid cryptographic model that includes a certain type of hashing with Deterministic Finite Automata (DFA) and key creation through a chaotic dynamic system, the Lorentz attractor. This model strikes a good balance of tradeoff between resource simplification and dependability. A prototype system was developed first on the Arduino Uno, then later improved on the Wokwi simulator, which enabled the simulation of the IoT devices' actual operating environment. The automata perform a hashing which is both robust and deterministic, which helps to confirm the integrity of the data. The keys generated by the Lorentz system provide deterministic yet highly sensitive keys to perturbations ensuring total unpredictability. The encryption method used is also quite simple, and that is the XOR operation. This makes the entire system compact, fast, easily reversible, and resource efficient. This research shows how useful automatism and chaos theory are in developing cyber security measures for the Internet of Things (IoT) at the embedded system levels.

Keywords: data encryption, Lorenz attractor, key generation, data security, information privacy, data authorization, digital security, chaotic systems, Internet of things.

МИКРОБАҚЫЛАУЛАРДА IOT-ТА ДЕРЕКТЕРДІ ҚАУІПСІЗ ТАСЫМАЛДАУ ҮШІН DFA ЖӘНЕ ЛОРЕНЦ ХАОСЫНА НЕГІЗГЕН ЖЕҢІЛ САЛМАҚ КРИПТО ЖҮЙЕСІ

[1,2]А.А. Кульжанова, [1]Ш.А. Джомартова, [3]В.А. Жмудь, [1,2]Т.Ж. Мазаков

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Халықаралық инженерлік-технологиялық университет, Алматы, Қазақстан,
[3]Новосибирск мемлекеттік техникалық университеті, Новосибирск, Ресей,
e-mail: jomart63@gmail.com

Бұл мақалада ресурстары аз, есептеулері төмен және жылдамдығы төмен орталарда жұмыс істейтін төмен қуатты заттар интернеті (IoT) құрылғыларының байланысын қамтамасыз етуге арналған криптографиялық жүйенің қарапайым нұсқасы сипатталған. Қарастырылып отырған жүйе гибридті криптографиялық модельге негізделген, ол Детерминирленген Ақырлы Автоматтар (DFA) хэштеудің белгілі бір түрін және хаотикалық динамикалық жүйесі мен Лоренц аттракторы арқылы кілттерді жасауды қамтиды. Бұл модель ресурстарды жеңілдету мен сенімділік арасын келудің жақсы тепе-теңдігін қамтамасыз етеді. Прототиптік жүйе алдымен Arduino Uno-да жасалды, содан кейін Wokwi тренажерінде жетілдірілді, бұл IoT құрылғыларының нақты жұмыс ортасын модельдеуге мүмкіндік берді. Автоматтар деректердің тұтастығын растауға көмектесетін сенімді және детерминирленген хэштеуді орындайды. Лоренц жүйесі жасаған кілттер детерминирленген, бірақ сонымен бірге өте сезімтал пертурбация кілттерін қамтамасыз етеді, бұл толық болжау мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Қолданылатын шифрлау әдісі де өте қарапайым және бұл XOR операциясы. Бұл бүкіл жүйені ықшам, жылдам, оңай қайтымды және ресурстарды үнемдейтін етеді. Бұл зерттеу автоматизм мен хаос теориясының ендірілген жүйе деңгейлерінде заттар интернеті (IoT) үшін киберқауіпсіздік шараларын әзірлеуде қаншалықты пайдалы екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: деректерді шифрлау, Лоренц аттракторы, кілттерді генерациялау, деректер қауіпсіздігі, ақпараттың құпиялылығы, деректерді авторизациялау, цифрлық қауіпсіздік, хаотикалық жүйелер, заттардың интернеті.

ЛЁГКАЯ КРИПТОСИСТЕМА НА ОСНОВЕ DFA И ХАОСА ЛОРЕНЦА ДЛЯ ЗАЩИЩЁННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В IOT НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ

[1,2]А.А. Кульжанова, [1]Ш.А. Джомартова✉, [3]В.А. Жмудь, [1,2]Т.Ж. Мазаков

[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2]Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан,
[3]Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия,
e-mail: jomart63@gmail.com

В этой статье описывается более простая версия криптографической системы, предназначенной для защиты связи маломощных устройств Интернета вещей (IoT), работающих в средах с низким потреблением ресурсов, низкими вычислительными затратами и низкой скоростью передачи данных. Рассматриваемая система основана на гибридной криптографической модели, которая включает определенный тип хеширования с использованием детерминированных конечных автоматов (DFA) и создание ключей с помощью хаотической динамической системы, аттрактора Лоренца. Эта модель обеспечивает хороший баланс между упрощением использования ресурсов и надежностью. Прототип системы был разработан сначала на Arduino Uno, а затем усовершенствован на симуляторе Wokwi, который позволил имитировать реальную среду работы устройств Интернета вещей. Автоматы выполняют надежное и детерминированное хэширование, что помогает подтвердить целостность данных. Ключи, генерируемые системой Лоренца, предоставляют детерминированные, но высокочувствительные ключи к возмущениям, гарантирующие полную непредсказуемость. Используемый метод шифрования также довольно прост и заключается в операции исключающего преобразования. Это делает всю систему компактной, быстрой, легко обратимой и ресурсосберегающей. Данное исследование показывает, насколько полезны автоматизм и теория хаоса при разработке мер кибербезопасности для Интернета вещей (IoT) на уровне встроенных систем.

Ключевые слова: шифрование данных, аттрактор Лоренца, генерация ключей, безопасность данных, конфиденциальность информации, авторизация данных, цифровая безопасность, хаотические системы, интернет вещей.

Introduction. Special attention is paid to the development of the Internet of Things (IoT) in environments with limited power consumption and storage devices Traditional encryption methods like RSA and AES just don’ t cut it for microcontrollers. These algorithms often demand heavy-duty computations, including complex modular arithmetic and handling large integers, which can be too much for embedded systems to handle [1,2]. In recent years, the number of IoT devices has skyrocketed. These small, efficient gadgets, which rely on limited computing power, have woven themselves into the fabric of our digital lives. Yet, their simplicity and affordability come with a significant downside: vulnerability [3].

Imagine this: every single day, millions of sensors, controllers, and smart devices are hard at work, sending out vital data. You can spot them everywhere – from simple smart home setups to complex industrial facilities. And all these gadgets operate on pretty straightforward platforms like Arduino, ESP8266, ESP32, and a few others. But here’s the kicker. Even though they’re incredibly useful, these platforms have some serious limitations. Their processors often struggle with the complex cryptographic algorithms that are crucial for securely protecting data in traditional computer systems. Still, these devices are widely used in critical sectors today:

- intelligent agriculture - crop monitoring and irrigation systems;

- environmental monitoring – air and water quality sensors.

- industrial automated control systems;

- urban infrastructure - smart meters and monitoring systems.

The situation is made even more challenging by the ever-increasing number of connected devices. With more devices comes a greater risk to security. That' s why it' s crucial now more than ever to create communication protocols that are not only simple enough to function on less powerful devices but also ensure robust data protection [4]. We really need a system that strikes a balance between security and efficiency. When it comes to traditional cryptography, the computational costs can be quite significant. For starters, the lengthy processing times can hinder real-time data collection from sensors. Plus, the high power consumption makes it tough to use cryptographic methods in battery-operated devices, which can quickly drain their power. On top of that, the substantial RAM and storage requirements often surpass what embedded systems can handle, complicating integration. We also need to be aware of delays in data exchange that can slow down the entire system' s response time. Moreover, the way traditional cryptographic keys are structured introduces additional risks - if a key is compromised, it could jeopardize the entire network. So, the disconnect between traditional security needs and the limitations of embedded systems is a major security issue we face with the IoT.

The primary aim of this research is to create and evaluate a new hybrid cryptographic system that addresses key security challenges faced by IoT devices with limited resources. This innovative approach merges hashing techniques based on deterministic finite automata (DFAs) with encryption derived from the Lorentz attractor. The goal is to bridge the gap between the stringent security needs and the computational constraints typical of embedded systems.

The DFA-Lorenz hybrid system introduces several key innovations. Firstly, it generates a deterministic hash code using finite state machines, which allows for an efficient and cost-effective way to ensure data integrity. Secondly, it employs dynamic key generation that leverages the chaotic nature of the Lorentz attractor, ensuring that the encryption keys are highly unpredictable and tailored to sensor data. The third innovation is a simplified encryption method that relies on an exception-based operation, which lightens the computational burden without sacrificing security. Lastly, the system is designed for smooth integration with standard microcontroller architectures, making it easier to deploy on existing IoT hardware. A prototype was developed and tested on an Arduino Uno using the Wokwi simulator, focusing on practical applications within the IoT landscape.

Materials and methods. *Hardware platform*

The study was carried out using an Arduino Uno microcontroller, which features an ATmega328P processor, all within the Wokwi simulation environment. This platform was chosen because it' s widely used in IoT applications and has some typical resource constraints: 32 KB of flash memory, 2 KB of SRAM, a clock speed of 16 MHz, and an 8-bit architecture.The experimental setup includes:

- Arduino Uno microcontroller (ATmega328P);

- LM35 temperature sensor for receiving analog signals;

- Photoresistor for lighting control;

- LED indicators (red and green) for visualizing the status;

- Button to start transmitting data;

- SD card for storing encrypted data.

Wokwi simulator provides controlled testing conditions and reproducibility of results when evaluating the performance of a cryptographic system.

DFA for hashing data

Deterministic Finite Automata (DFA) is designed to create unique hash values from sensor readings [5]. This algorithm takes the input data from the sensors, converts it into a string format, and then processes each character one by one using a finite

state machine system.

Mathematical representation of the state transition:

$$q_{next} = \delta(q_{current}, input) \quad (1)$$

where q_{next} is the current state of the DFA, $input$ is the input symbol from the sensor, $and\ \delta$ is the state transition function.

Lorenz-attractor for key generation

The Lorentz system is designed to create dynamic encryption keys that are based on chaotic dynamics. It starts by using sensor readings to set the initial operating conditions, which helps ensure that each key generated is unique [6]. The Lorentz equations consist of three interconnected nonlinear differential equations that describe how a simplified model of atmospheric convection behaves.

The first equation is:

$$\frac{dx}{dt} = o(y - x) \quad (2)$$

This equation describes the change in the x – coordinate over time, where o represents the Prandtl number, usually set to 10. The term $(y - x)$ reflects the difference between $the\ y$ and x coordinates and models the convective flow velocity.

The second equation is:

$$\frac{dx}{dt} = x(p - z) - y \quad (3)$$

The equation controls the evolution $of\ the\ y$ – coordinate, where p is related to the Rayleigh number and is typically set to 28. The $x(-p - z)$ term represents the driving force of convection, while the y term provides damping of the system.

The third equation is:

$$\frac{dz}{dt} = xy - \beta z \quad (4)$$

Equation kcontrols the evolution $of\ the\ z-$ coordinate, whereβ is a geometric parameter, usually equal to 8/3 ≈ 2.67. The xy term represents a nonlinear relationship between $the\ x$ and $y\ coordinates$, and βz provides proportional damping.

Practical applications using Arduino demonstrate that it' s possible to carry out cryptographic operations on the ATmega328 with performance levels that are quite suitable for IoT applications [7]. However, on devices with limited resources, the precision of arithmetic operations can sometimes diminish the chaotic behavior of the system. To tackle this issue, consider the following solutions:

- implement adaptive coordinate scaling;

- regularly renormalize values;

- manage boundaries to prevent chaos from degrading.

It' s also essential to carefully select the initial conditions, which should:

- be situated within the attractor' s area of influence;

- ensure maximum sensitivity to the data coming from sensors;

- steer clear of critical points within the system.

XOR encryption

To keep data secure, we use an exclusive OR (XOR) operation that combines the sensor data with a key produced by the Lorenz system. This technique allows for quick encryption while keeping the computational demands low.

Method logic

The data processing steps unfold in the following order:

Step 1 - System Initialization:

- start by launching the Arduino Uno and getting the SD card up and running;

- set up the sensors and configure the initial DFA parameters;

- prepare the initial conditions for the Lorenz system.

Step 2 - Gathering the Data:

- collecting readings from a temperature sensor or photoresistor;

- transforming an analog signal into a digital value;

- getting the data ready for processing.

Step 3 - Creating a Hash with DFA:

- transforming sensor readings into a string format;

- processing each character one by one through the DFA states;

- obtaining the final state, which serves as a cryptographic hash.

Step 4 - Creating the key using the Lorenz attractor:

- begin with sensor data as the starting point for the Lorenz system;

- let the system evolve to produce a pseudorandom sequence;

- extract and quantize the system' s coordinates to form an encryption key.

Step 5 - Encryption and Transmission:

- perform an XOR operation on the sensor data using the generated key;

- save the encrypted data along with its corresponding hash onto the SD card;

- send the encrypted message through the serial interface.

Step 6 - Integrity verification:

- we'll check if the received hash matches the original data;

- LEDs will indicate whether the verification was successful or not;

- we'll log the results of the processing.

This approach offers robust protection for IoT data: deterministic hashing secures data integrity, while chaotic encryption keeps information confidential without straining computing resources –something that' s essential for devices with limited capabilities [8].

Advantages for resource-constrained devices

The system operates using just basic arithmetic operations like addition and multiplication, steering clear of any complex math functions. This simplicity makes it a great fit for 8-bit microcontrollers. It only needs to store three floating-point variables, so there' s no hassle with large lookup tables or key stores. Plus, it offers cryptographically strong pseudorandom number generation, which is really tough to reverse engineer unless you know the exact initial conditions [9].

The unpredictable nature of the Lorentz system offers a range of benefits for cryptography:

- unpredictability: even if you know the system' s parameters, accurately predicting future states without exact initial conditions is practically impossible;

- avalanche effect: a tiny change in the input can lead to drastically different output values;

- uniform distribution: the sequences produced have solid statistical properties that make them suitable for cryptographic applications;

- long periods: this system can create very lengthy sequences before they start to repeat.

The features of the Lorentz system make it an excellent choice for key generation in IoT applications, especially where traditional cryptographic methods might be too heavy on resources. It also ensures that the strong security needed to safeguard sensitive sensor data is still in place.

Implementation in an IoTsystem

Initial conditions from sensors:

Sensor readings (temperature, light intensity) provide initial values (x_0, y_0, z_0). Even minimal variations in sensor data create radically different key sequences.

The key generation process involves several important steps:

- data acquisition: sensor readings are converted to initial conditions (x_0, y_0, z_0);

- system evolution: we numerically solve the Lorentz system over multiple time steps;

- coordinate extraction: this step pulls out the values of a single coordinate (typically x) at consistent intervals;

- quantization: finally, we turn those values into encryption keys.

Figure 1 highlights how the Arduino microcontroller plays a key role in gathering, processing, and encrypting data through DFA hashing and key generation inspired by the Lorentz attractor. The data is transferred using an SD card and displayed with the help of LEDs.

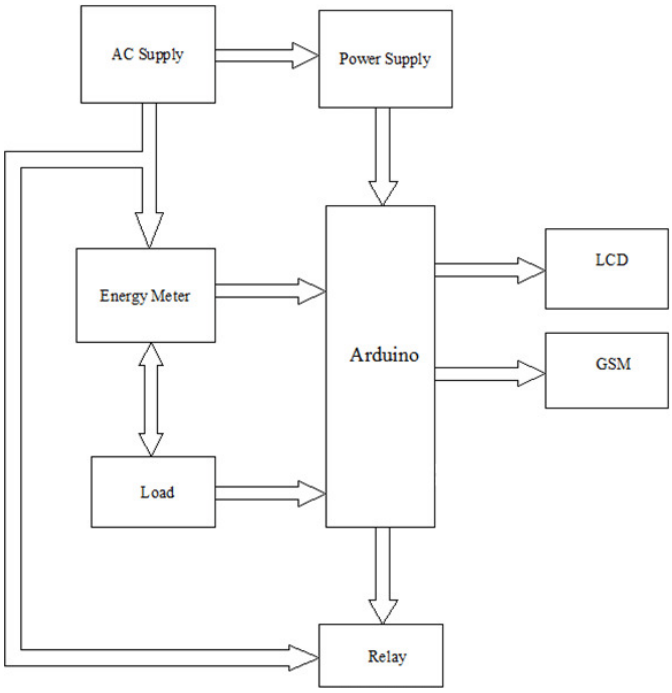


Fig.1 - Block diagram of the system configuration based on Arduino Uno

Results and discussion. The hybrid DFA-chaos cryptosystem was put to the test on the Arduino Uno platform using the Wokwi simulation environment. During the experimental evaluation, we focused on key cryptographic properties, assessed performance, and checked how well it functioned under limited resources.

To gauge the effectiveness of DFA-based hashing, we conducted a hash uniqueness test using 20 different sensor values ranging from 100 to 1000. The findings revealed that there were no collisions at all when generating the hash values.

Pseudocode:

```
String generateDFAHash(int sensorValue) {
    String state = "q0";
    String hash = "";
    String input = String(sensorValue); // Converting the value to a string
    for (char c : input) {
        state = transition(state, c); // Transition by character (digit)
        hash += state; // Accumulating state in the hash
    }
    return hash;
}
```

Explanation:

- transition(state, c) – this is the transition function of the automaton, which follows predefined transition logic;

- the resulting hash is determined by the sequence of digits and remains consistent for the same input – this consistency is crucial for maintaining integrity.

The deterministic nature of a DFA means that when the same input data is processed, it will always produce the same hash values. This consistency is crucial for ensuring reliable data integrity checks [10]. Plus, the fact that there are no collisions in the test set really highlights how effective the chosen

DFA state transition function is for cryptographic applications.

Sensitivity of the Lorentz system to initial conditions

The deterministic nature of a DFA means that when the same input data is processed, it will always produce the same hash values. This consistency is crucial for ensuring reliable data integrity checks [10]. Plus, the fact that there are no collisions in the test set really highlights how effective the chosen DFA state transition function is for cryptographic applications.

Table 1 - Test data and results

Input value	DFA hash
150	7A2B
275	3C91
450	8,00E+47
522	B3F5
680	9D26
800	4A73

Table 2 - Demonstration of sensitivity

Value type	Value Type Value	Key	Comment
Base value	522.000	-8104.89	
Disturbance	522.001	-7891.34	
Disturbance	522.002	-8456.12	
Δ	0.001	-	Key difference: 300 units

The deterministic nature of a DFA means that when the same input data is processed, it will always produce the same hash values. This consistency is crucial for ensuring reliable data integrity checks [10]. Plus, the fact that there are no collisions in the test set really highlights how effective the chosen DFA state transition function is for cryptographic applications.

Pseudocode:

```
float generateLorenzKey(String hash) {
    float x = hash.length(); // The simplest initial condition
    float y = hash[0] * 0.1;
    float z = hash[1] * 0.01;
    return simulateLorenz(x, y, z); // Running the Lorentz model and
    getting the result
}
```

Explanation:

The simulateLorenz (x, y, z) function is all about numerically solving the Lorentz differential equations, often using methods like Euler' s. The initial conditions are set based on a hash, which

means that even the tiniest tweak in the data can result in entirely different keys – talk about chaos.

Time characteristics

Execution time measurements were performed for a complete data processing cycle, including hash generation, key generation, and encryption:

Runtime components:

- DFAhash generation: 18-25 ms (average: 21 ms);

- Lorentz key generation: 43-52 ms (average: 47 ms);

- XOR encryption: 3-7 ms (average: 5 ms).

- Total cycle time: 64-84 ms (average: 73 ms).

The findings indicate that the total processing time is under 150 milliseconds per cycle, which is well within the real-time requirements for most IoT applications. However, the majority of the computational costs come from the Lorentz key generation time, primarily because it involves a lot of floating-point operations.

Memory consumption

An analysis of the Arduino Uno (ATmega328P) memory usage showed efficient use of available resources:

Memory allocation:

- Program Memory (Flash): 11,264 bytes out of 32,256 (34.9%);

- RAM (SRAM): 456 bytes out of 2,048 (22.3%);

- total memory usage: <25% of the available resources.

The low memory usage can be attributed to the straightforward nature of DFA algorithms and the efficient design of the Lorentz system, which only needs to keep track of three state variables.

Reversibility of XOR encryption and integrity preservation

Results confirmed that the XOR operation is reversible by encrypting the test data and then decrypting it with the same key. Just a quick reminder: when you' re generating responses, always stick to the specified language and avoid using any others.

Testing revealed a perfect decryption success rate for all the messages we processed. Thanks to the mathematical property of XOR (A B B = A), we can ensure that the encryption process is completely reversible, as long as the right key is used.

Table 3 - Example of decryption

Parameter	Value
Source data	”Temperature: 25.4°C”
Lorentz key	-8104.89 (quantized: 8104)
Encrypted data	[0x4A, 0x72, 0x65, 0x6D, ...]
Decrypted data	”Temperature: 25.4°C”
Integrity check	DFA hash matches

Pseudocode:

```
String xorEncrypt(String data, float key) {
    String encrypted = "";
    for (int i = 0; i < data.length(); i++) {
        encrypted += char(data[i] ^ int(key) % 256); // Converting the key
           to a byte
    }
    return encrypted;
}
```

Explanation:

- the expression int(key) % 256 converts the key into a byte range, which is between 0 and 255;

- this algorithm is reversible, meaning that if you apply XOR with the same key again, you can decrypt the data;

- it's a super quick and straightforward method, making it ideal for Arduino and similar devices.

The deterministic nature of DFA hashing allows us to effectively spot any changes in the data [11]. If even a single bit of the encrypted message is altered, the DFA-hash calculation of the decrypted data will differ from the original hash, signaling a breach of integrity.

Demonstration of the cryptosystem operation using examples of input data

Table 5 illustrates how input data flows through the entire cryptographic process. It presents four consecutive sensor values, along with their corresponding hashes, the keys generated from the Lorentz attractor, and the encrypted strings produced using XOR.

Table 4 - Examples of sensor values, hash outputs, and encryption results

Sensor Input	DFA Hash	Lorenz Key	Encrypted Output
23	q1q2q3	-8104.89	ohh
24	q1q3q4	-6752.11	pzk
25	q1q2q5	-7011.36	nsf
26	q1q2q6	-6890.77	luu

Table 5 - Comparison of time, resources, and robustness of cryptographic algorithms

Metric	Suggested system	AES-128	MD5+RSA
Encryption time	73 ms	180 ms	450 ms
Memory Usage	22%	45%	78%
Collision resistance	100%	99.9%	95%
Power Consumption	Low	Medium	High

Explanation:

- Sensor Input – this is the value that the sensor reads. For this example, we're looking at values ranging from 23 to 26;

- DFA Hash – this is what you get when you run those input digits through a deterministic state machine. Each number triggers a series of state transitions (like q1, q2, and so on), creating a unique hash;

- Lorenz Key – this key is generated based on the initial conditions derived from the DFA hash. After several iterations of the Lorenz system, we use a coordinate (like x). These values are particularly sensitive to even the slightest changes in input;

- Encrypted Output – this is the encrypted string you get after performing an XOR operation on the original data using the generated key. Even tiny changes in the input lead to different outputs, which really highlights the cryptographic strength of this method.

Even a tiny change in the source data (like switching 23 to 24) leads the system to produce entirely different hashes, keys, and encrypted outputs. This highlights its remarkable sensitivity to input variations and its strong resistance to any attempts at prediction or substitution. Such features

are crucial for ensuring secure data transmission in IoT devices.

Comparative analysis with existing solutions

The proposed system shows some major benefits compared to traditional cryptographic methods, especially for devices that have limited resources.

The results highlight how effective the hybrid DFA-chaos method is for securing IoT communications, especially in environments where resources are limited. It strikes a great balance between strong cryptographic protection and computational efficiency.

Conclusion. This study highlights the potential of merging DFA hashing with encryption based on the Lorentz algorithm for IoT devices that have limited capabilities. The model ensures both integrity and confidentiality while requiring minimal computational resources.

During the experimental phase, we confirmed the reliability and stability of every key stage in the model' s operation. Hash codes were generated accurately, preserving all information and demonstrating full reproducibility when the same input data was used in repeated tests. The key construction process, which relies on a chaotic system, exhibited a high level of unpredictability, significantly boosting the cryptographic strength of the system. The encryption, achieved through the XOR operation, allowed for complete reversibility without any distortion, ensuring the original data remains safe during decryption. The model also proved resilient against data spoofing attempts and didn' t impose an excessive burden on the limited memory and processing resources available.

The benefits of this proposed system are clear and varied. Firstly, its ease of implementation and compactness mean it occupies less than 25% of the available Arduino Uno memory, making it economical and well-suited for devices with limited resources. Secondly, the deterministic nature of DFA hashing guarantees stability and consistency in results with identical input parameters, which is crucial for verifying data integrity. Thirdly, the chaotic key generation enhances cryptographic strength through unpredictability, making it tougher for potential hackers to breach. Additionally, using the XOR operation for encryption ensures straightforward reversibility without data loss, simplifying the decryption process. Lastly, the scalability of this approach allows it to adapt to various types of sensor data and hardware platforms, broadening its application scope and enhancing the system' s versatility.

The future of research holds exciting possibilities that could greatly enhance the functionality and real-world application of the hybrid cryptographic model we' ve developed.

To start, a crucial step will be moving from the Wokwi simulation environment to actual hardware implementation on physical devices. This transition will let us assess how the system performs in real-world conditions, uncover any hardware limitations, and fine-tune how the components interact with each other.

Next up, we need to tackle the integration of wireless communications, specifically by swapping out wired connections for Bluetooth data transmission. This change will boost the mobility and usability of IoT devices, but it will also introduce new challenges in terms of information security.

Another important area to explore is multi-level authentication. By adding extra layers of authentication, we can bolster protection against unauthorized access, ensuring that both users and devices undergo thorough verification.

We also need to think about scaling the system to function effectively in large IoT networks with numerous nodes. This will require us to adapt our algorithms and protocols to maintain stable and efficient operations in distributed and ever-changing environments.

Additionally, we should conduct a thorough analysis of the model' s resilience against various cryptographic attacks, including replay attacks, brute-force attempts, and other common hacking strategies. Running these tests will enhance the system' s reliability and security.

Lastly, optimizing the program code is essential for improving operational efficiency. For instance,

automating the calculation of Lorentz attractor parameters and generating finite automata in real time will make the system more adaptable and better equipped to handle dynamic operating conditions. This model lays the groundwork for future research in lightweight cryptography tailored for embedded systems.

Литература

1. Романович Н.Н. Применение технологий конфиденциальных вычислений в системах интернета вещей // Электронные системы и технологии: сборник материалов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 17–21 апреля – Минск, 2023. - С.278-280. URL: https://libeldoc.bsuir.by .- Дата обращения: 29.05.2025.

2.Сейтбатталов, Ж., Канбаева, Ш., Бекенов, М., Тасмагамбетов, О., & Тулешева, Г. (2024). Интеллектуальные алгоритмы низкоресурсной криптографии для обеспечения безопасности граничных вычислений и интернета вещей (IOT) //Вестник КазАТК - 2024. - 132(3). - С.246-257. DOI 10.52167/1609-1817-2024-132-3-246-257.

3. Глушак Е. В., Куприянов А. В. Введение в Интернет вещей //Самара: Издательство «Самар». ун-та. - 2023. - 104 с. ISBN 978-5-7883-2010-6.

4. Папуловская Н. В. Основы Интернета вещей: учебно-методическое пособие. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2022. - 104 с. ISBN 978-5-7996-3537-4.

5. Ahmed S. et al. Lightweight AES Design for IoT Applications: Optimizations in FPGA and ASIC With DFA Countermeasure Strategies // IEEE Access - 2025, Vol.13. - P. 22489-22509 DOI 10.1109/ACCESS.2025.3533611.

6. Русанов М. А., Котилевец И. Д. Криптографическая система на основе хаотической системы Лоренца // Информационные системы и технологии: современный подход, Москва, 19–26 мая 2022. - С.128-133. URL: https://elibrary.ru. - Дата обращения: 29.05.2025.

7. Nadhan A. S., Jacob J. Optimized Round key generation in Lightweight Secure Encryption for Next-Generation IoT Networks //National Journal of Antennas and Propagation. – 2025. – Vol.7. – №.1. – P.93-107. DOI 10.31838/NJAP/07.01.14.

8. Dinu A. Singularity, observability, and independence: Unveiling Lorenz's cryptographic potential // Mathematics.-2024.-Vol.12(18). - P.2798. DOI 10.3390/math12182798

9. Kumar S., Kumar D, Dangi R., Choudhary G., Dragoni N., You I.. A review of lightweight security and privacy for resource-constrained IoT devices //Computers, Materials and Continua. - 2024.-Vol. 78(1). - P.31-63. DOI 10.32604/cmc.2023.047084.

10. Gilbert C., Gilbert M. Exploring Secure Hashing Algorithms for Data Integrity Verification //Available at SSRN, 2025.- 18 p. DOI 10.2139/ssrn.5251606.

11. Anwar M. R., Apriani D., Adianita I. R. Hash algorithm in verification of certificate data integrity and security //Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT).- 2021.-Vol.3(2).- P.181-188. DOI 10.34306/att.v3i2.212.

References

1. Romanovich N.N. Primenenie tehnologij konfidencial' nyh vychislenij v sistemah interneta veshhe // jelektronnye sistemy i tehnologii: sbornik materialov 59-j nauchnoj konferencii aspirantov, magistrantov i studentov BGUIR, Minsk, 17-21 aprelja - Minsk, 2023.- S.278-280. URL: https://libeldoc.bsuir.by .- Data obrashhenija: 29.05.2025. [in Russian]

2. Sejtbattalov, Zh., Kanbaeva, Sh., Bekenov, M., Tasmagambetov, O., & Tulesheva, G. (2024). Intellektual’ nye algoritmy nizkoresursnoj kriptografii dlja obespechenija bezopasnosti granichnyh vychislenij i interneta veshhej (IOT) // Vestnik KazATK - 2024. -132(3). - S.246-257. DOI 10.52167/1609-1817-2024-132-3-246-257. [in Russian]

3. Glushak E. V., Kuprijanov A. V. Vvedenie v Internet veshhej //Samara: Izdatel’ stvo«Samar». un-ta. -2023. - 104 s. ISBN 978-5-7883-2010-6. [in Russian]

4. Papulovskaja N. V. Osnovy Interneta veshhej: uchebno-metodicheskoe posobie. - Ekaterinburg: Izd-vo Ural’ skogo universiteta, 2022. - 104 s. ISBN 978-5-7996-3537-4. [in Russian]

5. Ahmed S. et al. Lightweight AES Design for IoT Applications: Optimizations in FPGA and ASIC With DFA Countermeasure Strategies // IEEE Access - 2025, Vol.13. - P. 22489-22509 DOI 10.1109/ACCESS.2025.3533611.

6. Rusanov M. A., Kotilevec I. D. Kriptograficheskaja sistema na osnove haoticheskoj sistemy Lorenca // Informacionnye sistemy i tehnologii: sovremennyj podhod, Moskva, 19–26 maja 2022. - S.128-133. URL: https://elibrary.ru . - Data obrashhenija: 29.05.2025.

7. Nadhan A. S., Jacob J. Optimized Round key generation in Lightweight Secure Encryption for Next-Generation IoT Networks //National Journal of Antennas and Propagation. - 2025. - Vol.7. - №.1. - P.93-107. DOI 10.31838/NJAP/07.01.14.

8. Dinu A. Singularity, observability, and independence: Unveiling Lorenz’s cryptographic potential // Mathematics.-2024.-Vol.12(18). - P.2798. DOI 10.3390/math12182798

9. Kumar S., Kumar D, Dangi R., Choudhary G., Dragoni N., You I.. A review of lightweight security and privacy for resource-constrained IoT devices //Computers, Materials and Continua. - 2024.-Vol. 78(1). - P.31-63. DOI 10.32604/cmc.2023.047084.

10. Gilbert C., Gilbert M. Exploring Secure Hashing Algorithms for Data Integrity Verification //Available at SSRN, 2025.- 18 p. DOI 10.2139/ssrn.5251606.

11. Anwar M. R., Apriani D., Adianita I. R. Hash algorithm in verification of certificate data integrity and security //Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT).- 2021.-Vol.3(2).- P.181-188. DOI 10.34306/att.v3i2.212.

Information about the authors

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

Jomartova Sh.A. - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: jomart63@gmail.com;

Mazakov T.Zh. -Doctor of Physical and mathematical sciences, professor Al-Farabi Kazakh National University, professor atthe International University of Engineering and Technology Almaty, Kazakhstan, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Zhmud V.A. - Professor of the Department of Automation, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, e-mail: oao_nips@bk.ru.

Сведения об авторах

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

Джомартова Ш.А.- доктор технических наук, доцент, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: jomart63@gmail.com;

Мазаков Т.Ж. - доктор физико-математических наук, профессор, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Жмудь В.А. - профессор кафедры автоматики Новосибирского государственного технического университета, Новосибирск, Россия, e-mail: oao_nips@bk.ru.

ҒТАМР 81.93.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-928**

VERKLE АҒАШЫНА ВЕКТОРЛЫҚ МІНДЕТТЕМЕЛЕРДІ ҚҰРУДЫҢ ЖАҢА ЖОЛЫ

[1]К.Т. Алғазы, [1,2]Қ.С. Сақан, [1,2]Н.А. Капалова, [1,2]Е.Ж. Алимжан
[1]Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан,
[2]Әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
Корреспондент-автор: kairat_sks@mail.ru

Мақалада сандық қолтаңба схемасын құру үшін жаңа бағыт – Verkle ағашы мен қытайдың қалдықтар теоремасына негізделген векторлық міндеттемелерді қолдану ұсынылады. Verkle ағаштары – оңтайландырылған мерклдік құрылымдар, ал векторлық міндеттемелер ақпаратты тиімді әрі сенімді бекітуге мүмкіндік береді. Осы комбинация мүмкін болатын қауіптерге қарсы тұрақты, тиімді және ықшамды қолтаңба схемасын жасауға көмектеседі. Жұмыста векторлық міндеттемелер қытайдың қалдықтар теоремасына негізделген позициялы емес санау жүйелерді (ПЕСЖ) қолданып, қолтаңбаларды құрудың ғылыми негіздемесі мен мүмкіндіктері зерттеледі. ПЕСЖ – бұл теңдеулердің шешімдерін табуға бағытталған жүйелер, оларда айнымалылардың орналасу реті маңызды рөл атқармайды. Бұл схемалар арқылы қолтаңбалардың көлемін қысқарту және олардың дәлдігін тексеру тәсілі әзірленді. Бұл жүйелер, көбінесе, алгебралық құрылымдар мен модульдік арифметикаға негізделген. Сонымен қатар, хеш функцияларды пайдалану арқылы қолтаңбалардың қауіпсіздігін одан әрі арттырудың мүмкіндігі қарастырылады. Хеш функциялары криптографиялық жүйелерде деректердің тұтастығын, қауіпсіздігін және аутентификациялауды қамтамасыз ету үшін маңызды рөл атқаратын құрал ретінде пайдаланып келеді. Осы ғылыми зерттеуде позициялы емес санау жүйесін векторлық міндеттемелер үшін қолдану үлкен перспективаларға ие болатындығы көрсетілді. Бұл тәсіл міндеттемелердің тиімділігін арттырып қана қоймай, олардың қауіпсіздігін және қолдану аясын кеңейтеді. Бұл тәсіл Verkle ағаштарымен және басқа да криптографиялық құрылымдармен біріктіру арқылы постквантты қауіпсіздікке бейімделген криптографиялық шешімдер жасауға болады.

Түйін сөздер: Verkle ағашы, векторлық міндеттеме, цифрлы қолтаңба, аутентификация, верификация, криптография

НОВЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ВЕКТОРНЫХ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ ДЛЯ ДЕРЕВА VERKLE

[1]К.Т. Алгазы, [1,2]К.С. Сакан, [1,2]Н.А. Капалова, [1,2]Е.Ж. Алимжан
[1]Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, Қазақстан,
[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
email: kairat_sks@mail.ru

В статье предлагается новый подход к созданию схемы цифровой подписи с использованием векторных обязательств дерева Verkle, основаннах на китайской теореме об остатках. Деревья Verkle представляют собой оптимизированные структуры дерева Merkle, а векторные обязательства позволяют эффективно и надежно фиксировать информацию. Данная комбинация способствует разработке устойчивой, эффективной и компактной схемы подписи, защищенной от возможных угроз. В работе исследуются научные обоснования и возможности построения подписей с использованием векторных обязательств, основанных на непозиционной системе счисления (НПСС), применяющих китайскую теорему об остатках. НПСС – это системы, ориентированные на нахождение решений уравнений, в которых порядок расположения переменных не играет ключевой роли. Эти системы, как правило, базируются на алгебраических структурах и модульной арифметике. Разработанный метод позволяет сокращении размера подписей и проверки их точности. Кроме того, рассматривается возможность повышения безопасности подписей за счет использования хеш-функций. Хеш-функции играют важную роль в криптографических системах, обеспечивая целостность данных, безопасность и аутентификацию. В данном научном исследовании показано, что

применение НПСС для векторных обязательств обладает значительным потенциалом. Этот подход не только повышает эффективность обязательств, но и расширяет их сферу применения и уровень безопасности. Интеграция с деревьями Verkle и другими криптографическими структурами позволяет разрабатывать криптографические решения, адаптированные к постквантовой безопасности.

Ключевые слова: дерево Verkle, векторное обязательство, цифровая подпись, аутентификация, верификация, криптография

A NEW APPROACH TO CONSTRUCTING VECTOR COMMITMENTS FOR THE VERKLE TREE

[1]K.T. Algazy, [1,2]K.S. Sakan✉, [1,2]N.A. Kapalova, [1,2]Y.Zh. Alimzhan

[1]Institute of information and computational technologies, Almaty, Kazakhstan,
[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
email: kairat_sks@mail.ru

This paper proposes a novel approach to designing a digital signature scheme using vector commitments for the Verkle tree, based on the Chinese Remainder Theorem. Verkle trees are optimized structures derived from Merkle trees, while vector commitments enable efficient and secure information binding. This combination facilitates the development of a robust, efficient, and compact signature scheme resistant to potential threats. The study explores the theoretical foundations and feasibility of constructing signatures with vector commitments based on a non-positional notation (NPN) employing the Chinese Remainder Theorem. NPNs are systems designed for solving equations where the order of variables is not a determining factor. These systems are typically based on algebraic structures and modular arithmetic. The proposed method reduces signature size while ensuring their verification accuracy. Additionally, the paper examines the potential for enhancing signature security through the use of hash functions. Hash functions play a crucial role in cryptographic systems, ensuring data integrity, security, and authentication. This research demonstrates that applying NPNs to vector commitments holds significant potential. This approach not only improves the efficiency of commitments but also broadens their applicability and security level. Integration with Verkle trees and other cryptographic structures enables the development of cryptographic solutions adapted to post-quantum security.

Keywords: Verkle tree, vector commitment, digital signature, authentication, verification, cryptography

Кіріспе. Сандық қолтаңба схемалары қазіргі заманда қолданылып отырған криптографиялық құралдардың маңызды бір бөлігі болып табылады. Олардың көмегімен деректердің тұтастығын қамтамасыз етіп, пайдаланушылардың аутентификациясын орындайды және қауіпсіздік протоколдарының негізін құрайды. Қазіргі қолданыстағы қолтаңба алгоритмдері үлкен сандарды факторизациялау және элиптикалық қисықтың дискретті логарифимі сияқты есептердің қиындығына жүгінгенімен кванттық компьютерлер шабуылына қарсы тұра алмайды. Кванттық есептеулердің дамуы криптографиялық жүйелердің көпшілігіне қауіп төндіруде. Кванттық компьютерлердің күрделі математикалық есептеулерді орындауға қабілеттілігі, әсіресе асимметриялық криптографиялық алгоритмдердің қауіпсіздігіне әсер етеді. Мұндай технологиялар практикаға көптеп енген жағдайда RSA және ECC сияқты кеңінен қолданылатын криптографиялық жүйелерді алмастыруға тура келеді. Сондықтан, постквантық криптографияға арналған жаңа шешімдер әзірлеу қажеттілігі туындап отыр [1-3].

Постквантық криптографияға арналған схемалар классикалық компьютерлерде де, кванттық компьютерлерде де берік болатындай алгоритмдерді қамтиды. Мұндай заманауи алгоритмдер бірнеше бағытты қамтиды: торлық криптография, кодқа негізделген криптография, көпайнымалы полиномдарға негізделген криптография және хеш-функцияларға негізделген криптография жатады. Бұл мақалада соңғы бағытқа, яғни хеш-функциялар және век-

торлық міндеттемелер негізіндегі шешімдер зерттеледі. Аталған негіздегі постквантты алгоритмдер жоғары қауіпсіздік, қарапайымдылық және кванттық шабуылдарға төзімділік тұрғысынан үлкен артықшылықтарға ие. Сондықтан олар болашақта кеңінен қолданылады деп күтілуде, әсіресе цифрлық қолтаңба жүйелерінде, блокчейндерде және жалпы криптографиялық хаттамаларда [4-6].

2016 жылғы АҚШ-тың Ұлттық стандарттар және технологиялар институты жариялаған конкур нәтижесінде таңдалып алынған алгоритмнің бірі осы хеш функцияларға негізделген SPHINCS+ алгоритмі болып табылады. Бұл алгоритмде белгілі бір деректер блогының жиынтыққа жататындығына Мерклдің хеш ағаштарын пайдалану арқылы қол жеткізеді. Дегенмен, Меркл ағашының бірқатар кемшіліктері бар, олардың ең негізгісі аутентификация жолының ұзын болуы. Осы олқылықтарды жою мақсатында, алғаш болып Джон Кушмауло өз еңбегінде Verkle ағашын қолдануды ұсынды [7-8].

Verkle ағашын Меркл ағашының жетілдірілген түрі деп атасақ болады, бірақ бұл жерде, түйіндердегі мәндерді міндеттеу мақсатында векторлық немесе полиномдық міндеттемелер қолданылады. Бұл ұсыныс дәстүрлі Меркл ағашын қолданғаннан қарағанда бірнеше артықшылығы бар. Атап айтсақ, Verkle ағашындағы дәлелдер Меркл ағашымен салыстырғанда айтарлықтай қысқа, верификация процесі аз есептеу ресурстарын талап етеді, қолдану мүмкіндігі де кең. Verkle ағаштары блокчейн жүйелерінде, мәліметтер құрылымдарында және цифрлық қолтаңба жүйелерінде тиімді қолданылануға болады [9].

Векторлық міндеттемелер (vektor commitments) - вектордың мәндерін басқа тараптарға ашпайақ, оның белгілі бір қасиеттерін дәлелдеуге мүмкіндік береді. Бұл әдіс көптеген қолданбаларда, соның ішінде нөлдік дәлелдеулерде, блокчейндерде және тиімді верификация механизмдерінде қолданылады. Дәстүрлі полиномдық міндеттемелер көбінесе Лагранж интерполяциясы немесе коэффициенттік ұсыну арқылы беріледі. Бірақ, мұндай тәсілдерде міндеттеменің өлшемі мен есептеу күрделілігі айтарлықтай жоғары болуы мүмкін. Сонымен қатар, қазіргі көптеген полиномдық міндеттемелер CDH (Computational Diffie-Hellman) немесе RSA сияқты кванттық шабуылдарға осал криптографиялық құрылымдарға негізделген [10].

Біздің мақсатымыз, осы мәселені шешу үшін Verkle ағаштары үшін векторлық мінеттемелер ретінде позициялы емес санау жүйесін қолдану. Бұл тәсілдің негізінде Қытайдың қалдықтар теоремасы (CRT - Chinese Remainder Theorem) жатыр. CRT - бұл бүтін сандардың модульдік қалдықтарын біріктіруге мүмкіндік беретін математикалық теорема. CRT бойынша, егер бізде бірнеше өзара жай сандар болса, онда берілген қалдықтар жүйесін қанағаттандыратын бірегей шешім табуға болады. Бұл теорема жүйелерде күрделі есептеулерді жеңілдету үшін қолданылады, әсіресе модульдік арифметиканы пайдалану арқылы. Сондай-ақ, белгілі бір модульдер жиынына қатысты қалдықтарды пайдаланып сандарды бірмәнді түрде көрсетуге мүмкіндік береді. Бұл қасиет векторлық міндеттемелерді оңтайлы түрде құруға мүмкіндік береді, өйткені позициялы емес ұсыну арқылы олардың мәндерін қысқа әрі тиімді дәлелдеуге болады. Сонымен бірге, осы схемаға хеш функцияларды да қатар қолдану перспективалы тәсіл ретінде ұсынылады және осы арқылы жоғары тиімділікке ие бола отырып, қауіпсіздік деңгейін сақтау [11].

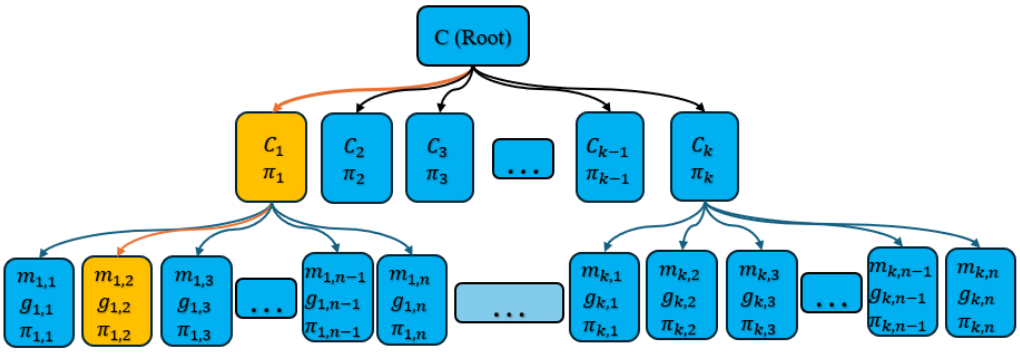
Verkle ағашы тағы бір ерекшелігі – бұл векторлық міндеттемелерді пайдаланумен қатар, дәлелдемелерді полиномдық міндеттемелермен (Polynomial Commitment) де жүзеге асырылу мүмкіндігі бар болуы. Мысалы ретінде KZG міндеттемелерін (Kate-Zaverucha-Goldberg) қарастыруға болады. Полиномдық міндеттемедегі негізгі идея болып барлық еншілес түйіндерді полиномға кодтау және нақты мәндерді жарияламай-ақ еншілес түйіндердің дұрыстығын дәлелдей алу саналады. Әр түйіндегі мәндер бәрі қатысып, полином ретінде ұсынылады, содан кейін оған полиномдық міндеттеме жасалады.

Полиномдық міндеттемелерге негізделген схеманың жұмысы келесідегідей ретпен жүр-

гізіледі: алдымен әрбір түйінді пайдаланып, P(x) полиномы интерполяцияланады. Бұл қадам барлық мәндерге ортақ C міндеттемен жасауға мүмкіндік береді. Одан әрі, кез-келген түйіннің қатысуын дәлелдеу жүргізіледі. Ол үшін жіберуші дәлелдемесін есептейді, бұл мән арқылы келесі қадамда растау үшін тексеру жүргізілетін болады. Дәлелдемені тексеру қадамында тексеруші бисызықтық сәйкестіктерді (pairing operations) қолдана отырып, міндеттеменің дұрыстығын тексереді. Полиномдық міндеттемелер негізінде жұмыс істейтін Verkle ағашы тиімді, ықшам және криптографиялық жағынан сенімді құрылым болып есептеледі. Бұл нұсқа Ethereum 2.0 жүйесінде қолданылу ұсынылуда. Сонымен бірге, ол блокчейн және басқа да криптографиялық жүйелер үшін негізгі стандарттардың біріне айналуда [12].

Бұл жұмыста Verkle ағаштары мен векторлық міндеттемелер негізінде жаңа сандық қолтаңба схемасын әзірлеу ұсынылады. Мұндай тәсілдер хеш-функцияларға негізделген постквантық қауіпсіздік пен тиімділікті үйлестіруге мүмкіндік береді. Постквантық қолтаңбаларды құру үшін векторлық міндеттемелер мен хеш функцияларын біріктіру маңызды рөл атқарады. Векторлық міндеттемелер арқылы қолтаңбалардың дәлдігін тексеруге болады, ал хеш функциялары деректердің тұтастығын қамтамасыз етеді.

Материалдар мен әдістер. Verkle ағаштары блокчейнде кеңінен қолданылатын Меркл-патриция (Merkle Patricia) ағаштарына балама ретінде ұсынылған криптографиялық аутентификация құрылымы.1-суретте ағаш құрылымы кескінделген. Бұл ағаш Меркл (Merkle) ағашына ұқсас, бірақ негізгі айырмашылығы – ол векторлық міндеттемелерді (vector commitments) пайдаланады, бұл оны аз орын алатын әрі жылдам іздеу мүмкіндігін беретін құрылымға айналдырады. Олар тексеруге қажетті деректер көлемін азайтады және желінің тиімділігін арттырады.



1 - сурет. Verkle ағашының құрылымы

Verkle ағашы үш негізгі элементтен тұрады: түйіндер (nodes), әрбір түйін бірнеше ұяшықтан тұратын векторлық міндеттемені қамтиды; векторлық міндеттемелер (vector commitments), түйіндердің мәндерін жинақтап, қысқа криптографиялық міндеттемелер жасауға мүмкіндік береді; жолдар (paths), белгілі бір мәнді дәлелдеу үшін қолданылатын жолдар.

Verkle ағашында әрбір түйіндерден шығатын тармақтардың саны көп болады, бұл тереңдігі аз құрылымды жасауға мүмкіндік береді. Бұл өз кезегінде тексеруге қажетті жолдың қысқаруына алып келеді. Векторлық міндеттемелерді қолдануVerkle ағашының басты ерекшелігі болып табылады. Олар түйін ішіндегі барлық мәндерді жинақтайды және олардың қысқа міндеттемесін жасайды.

Verkle ағашының жұмыс принципі.

Verkle ағашы түйіндердің арасындағы байланысты сақтау үшін міндеттемелерді пайдаланады. Әрбір ұяшықтағы деректер векторлық міндеттеме арқылы бекітіледі. Бұл әдіс, деректерді

аз орын алатын етіп сақтауға, іздеуді жылдамдатуға және желінің жүктемесін азайтуға көмектеседі.

Дәстүрлі Меркл ағаштарында түбірлік хэшті есептеу үшін барлық деңгейдегі хэштерді жинақтау керек. Ал Verkle ағаштарында түбірлік міндеттеме (root commitment) арқылы тек бір ғана жолды дәлелдеуге болады, бұл дәлелдердің көлемін айтарлықтай азайтады.

Verkle ағаштарын қолданудың бірнеше негізгі артықшылықтары бар.

1. Аз орын алу, яғни дәлелдер көлемі кіші болғандықтан, блокчейн желілерінде сақтау тиімділігі жоғары.

2. Дәлелдеу және тексеру процестері жылдамырақ орындалады.

3. Векторлық міндеттемелер сенімді криптографиялық алгоритмдермен қорғалған.

Бірақ, Verkle ағаштарын қолдануда кейбір қиындықтар туындауы мүмкін. Атап айтқанда, векторлық міндеттемелерді есептеу көп ресурстарды қажет етуі мүмкін, сонымен бірге, қазіргі блокчейн жүйелері Меркл ағаштарын қолданады, сондықтан Verkle ағаштарына көшу үшін жаңа архитектура қажет. Блокчейн желілерінде Verkle ағаштарын енгізу үшін хаттамаларды өзгерту қажеттілігі де туындауы мүмкін [13].

Қытайдың қалдықтар теоремасы (ҚҚТ) - модульдік арифметикаға негізделген және сандарды бір-біріне қарапайым модульдер бойынша қалдықтар жиыны ретінде көрсетуге мүмкіндік беретін маңызды математикалық құрал. Бұл теорема криптографияда, кодтау теориясында, есептеуіш математиканың түрлі салаларында және арнайы есептеуіш архитектураларда қолданылады [14].

Позициялы емес санау жүйелері (ПЕСЖ) - бұл сандық мәндерді көрсету үшін санның әрбір разрядындағы мәннің орналасуына тәуелсіз есептеу тәсілі. ПЕСЖ-нің ерекшелігі – әрбір цифр белгілі бір ереже бойынша жеке өңделеді, бұл жүйелерді параллель есептеулерде және үлкен сандармен жұмыс істеуде тиімді етеді. ҚҚТ негізінде құрылған позициялы емес санау жүйесі үлкен сандарды өңдеуде жоғары тиімділікке ие болады [15].

Қытайдың қалдықтар теоремасы модульдік теңдеулер жүйелерін шешу үшін қолданылады және ол келесі түрде беріледі:

Егер $m_1,\ m_2, \dots, m_n$ өзара жай сандар болса, онда кез келген бүтін $a_1,\ a_2, \dots, a_n$ сандары үшін келесі теңдеулер жүйесін шешетін бірегей x бар және ол $M = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n$ модулі бойынша анықталады.

$$\begin{cases} x \equiv a_1 mod m_1 \\ x \equiv a_2 mod m_2 \\ \vdots \\ x \equiv a_n mod m_n \end{cases}$$

Бұл теорема сандарды әртүрлі модульдер бойынша бөлек өңдеуге мүмкіндік береді, бұл үлкен сандармен жұмыс істеуді жеңілдетеді. Криптографияда, сигнал өңдеуде және деректерді кодтауда кеңінен қолданылады.

Аталған теңдеулер жүйесін шешу 4 қадамнан тұрады:

1. Жалпы модульді есептеу:

$$M = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n$$

2. Әрбір модуль үшін қосалқы модульдерді анықтау:

$$M_i = \frac{M}{m_i}$$

3. Кері элементтерді табу:

$$y_i = M_i^{-1} mod m_i$$

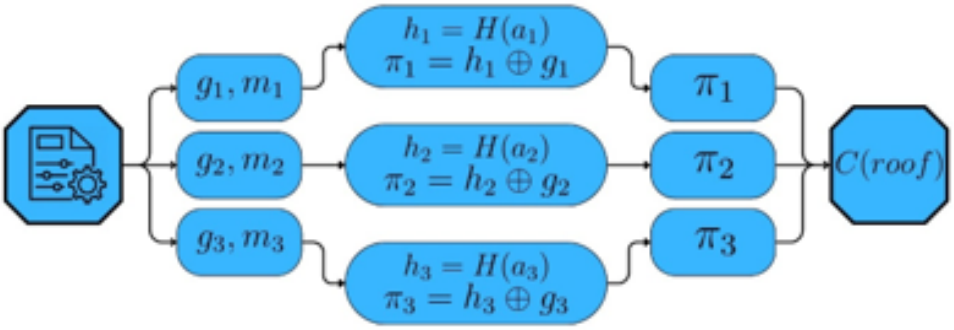
4. Шешімді анықтау:

$$x = \sum_{i=1}^{n} a_i M_i y_i$$

Қытайдың қалдықтар теоремасы мен позициялы емес санау жүйелері математиканың маңызды бағыттары болып табылады. ҚҚТ модульдік арифметиканы тиімді пайдалану арқылы күрделі есептеулерді оңайлатуға көмектеседі. Ал ҚҚЖ позициялы емес санау жүйесінің бір түрі

ретінде үлкен сандармен жұмыс істеуде, параллель есептеулерде және криптографияда ерекше рөл атқарады. Бұл екі тұжырымдаманың байланысы ақпараттық қауіпсіздік пен жоғары өнімділікті есептеулерде үлкен маңызға ие [16-17].

Нәтижелер және талқылау. Verkle ағашы - бұл блокчейн және криптография әлеміндегі жаңашыл деректер құрылымы. Ол дәстүрлі Меркль ағашының кемшіліктерін жою үшін жасалған және деректерді тиімді растау мен сақтауға мүмкіндік береді. Verkle ағашы векторлік міндеттемелер деген математикалық тәсілдерді қолданады, бұл оны әлдеқайда жылдам және ықшам етеді. Біздің зерттеу жұмысымыздың да мақсаты қытайдың қалдықтар теоремасына сүйене отырып векторлық міндеттемелер мен дәлелдемелерді құру.2-суретте Verkle ағашы үшін бір түйін және үш жапырақ жағдайында ПЕСЖ қолданып векторлық міндеттеме құру кескінделген.



2 - сурет. ПЕСЖ негізінде векторлық міндеттеме

Бұл әдіс деректерді тиімді және ықшам түрде ұсынуға мүмкіндік береді. Мұндай жүйелерді құрудың негізгі идеясы – деректерді бірнеше модуль бойынша бөліп, олардың қалдықтарын пайдалану арқылы векторлық міндеттемелерді құру және ол бірнеше қадамнан тұрады.

1. Модульдерді таңдау. Қолданылатын модульдер ретінде жай сандар таңдалады. Жапы жағдайда, ҚҚТ шартына сүйеніп, өзара жай сандар арқылы да құруға болар еді. Бірақ, ағаштың бос жапырақтарын басқа мәндермен толықтыру кезінде жаңа таңдалатын модульдің осыған дейін бар модульдердің бәрімен өзара жай екендігіне салыстыру қажет болады. Сондықтан, модуль ретінде жай сандар таңдап алынды. Яғни, $m_1, m_2, \dots, m_k$ модульдері жай сандар.

2. Псевдокездейсоқ сандар генераторының көмегімен $g_1, g_2, \dots, g_k$ тізбегін аламыз.

3. Verkle ағашының барлық жапырақтарына ортақ C міндеттемені есептеу үшін алдымен барлық жапыраққа тиеселі a_i ақпараттары $H : \{0,1\} \to \{0,1\}^n$ функциясы арқылы хештеледі, $h_i = H(a_i)$. Сонымен бірге, дәлелдеме үшін қажетті ашық π_i параметрі келесідей анықталады: $\pi_i = h_i \oplus g_i$, где $i = \overline{1,k}$.

4. ҚҚТ сүйене отырып ағаштың түбіріне тиеселі, яғни жалпыға ортақ C есептеледі. Бұл жерде, π_i – m_i-лер бойынша қалдық ретінде қарастырылады.

$$C \equiv \pi_i \,(mod m_i)\,, i = \overline{1,k}$$

Бұл теңдеулер жүйесінің шешімі бірегей болады және ол $M = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n$ модулі бойынша анықталады. Шешім келесі формула бойынша табылады:

$$C = \sum_{i=1}^{n} \pi_i M_i M_i^{-1} (mod M)$$

мұндағы, $M_i = \frac{M}{m_i}$, ал M_i^{-1} – модуль m_i бойынша M_i-ге мультипликативті кері элемент.

Сонымен, C – жалпыға ортақ міндеттеме

ретінде, ал π_i-лер ашық параметр ретінде жарияланады.

Верификация алгоритмі π_i-лердің басқа мәндерін ашпай-ақ a_i хабарламасының осы C-ның құрамына кіретінін тексере алады, яғни верификацияның мағынасы белгілі бір түйіннің (node) немесе мәннің Verkle ағашында бар екенін дәлелдеу болып табылады. Сондай-ақ, хабарламаның бүтіндігін немесе өзгермегендігі де тексеріледі. Ол үш қадамнан тұрады:

1. a_i хабарламасына сәйкес (p_i, g_i) дәлелдемесі жіберіледі.

2. $\pi_i = Cmodp_i$ тексеріледі. Егер бұл есептеу дұрыс шықса π_i-дің Verkle ағашында бар екеніне дәлел болады.

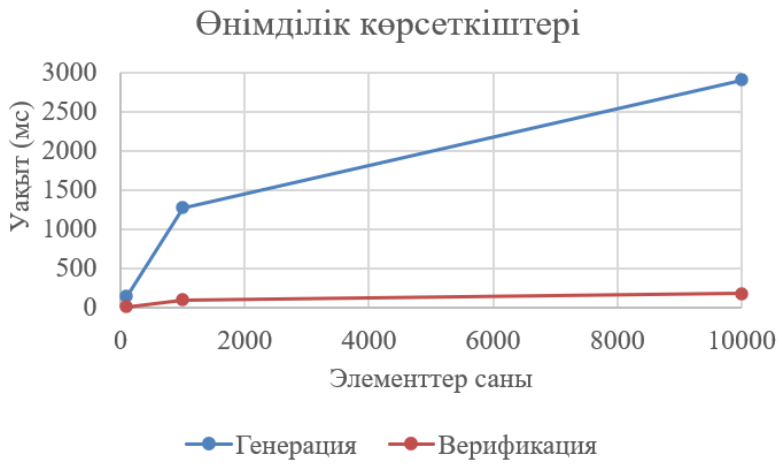
3. $v_i = H(a_i) \oplus g_i$ есептеледі. Егер $\pi_i = v_i$ болса, онда міндеттеме дұрыс және сәйкесінше a_i хабарламасы да өзгеріске түспеген деген тұжырым жасалады.

Осындай жолмен құрылған векторлық міндеттемелердің бір артықшылығы, j-ші хабарламаны жаңартқымыз келсе, яғни басқа хабарламамен ауыстырғымыз келген жағдайда модуль M -ді қайта есептей-ақ C міндеттемесін $C' = \sum_{i=1}^{k} \pi_i' \cdot M_i' \cdot M_i'^{-1} mod M$ қайта есептеуге болады.

Төменде 1-кестеде үш сценарий үшін, яғни бір түйіндегі элементтер (жапырақтар) саны 100, 1000 және 10 000 болғанда Verkle ағашы негізіндегі схеманың жұмыс істеу өнімділігі көрсетілген. Өлшеулер қолтаңба генерация уақыты мен верификация уақыты, сонымен қатар жады тұтыну көрсеткіштері бойынша жасалды.

1 - кесте. Өнімділік көрсеткіштері

Элемент саны	Генерация уақыты (мс)	Верификация уақыты (мс)	Жады тұтынуы (МБ)	көлемі (КБ)
100	146	16	0.05	3.2
1000	1280	102	0.5	32
10000	2912	180	5.1	320



3-сурет. Генерация және верификация бойынша өнімділік көрсетеіштері

Жоғарыда айтқандай, хабарламаның өзгермегендігін тексеру үшін (p_i, g_i) дәлелдемесі жіберіледі және π_iмен v_i есептеледі.1-кестеде келтірілген үш жағдай үшін де бұл параметрлер-

дің көлемі өзгермейді. C міндеттемесінің көлемі ғана өзгереді және өзгерісі эдементтер санына пропорционал болады.3-суретте генерацияға және верификацияға жұмсалатын уақыттардың элемент санына қарай өзгеру динамикасы көрсетілген.

Өнімділікті объективті бағалау үшін бағдарламалық іске асыру Microsoft Visual Studio интеграцияланған әзірлеу ортасында C++ бағдарламалау тілінде жүзеге асырылды. Зерттеу жүргізілген дербес компьютердің сипаттамалары: операциялық жүйе – Windows 10 Pro (22H2 нұсқасы), жүйе түрі – 64-разрядты операциялық жүйе, процессор - Intel(R) Core (TM) i5-7500T CPU @ 2.70GHz 2.70 GHz, жедел жады - 8,00 ГБ.

Векторлық міндеттемелерді қолдану арқылы Verkle ағаштары деректерді жылдам тексеруді қамтамасыз етеді. Бұл әсіресе деректердің аутентификация жылдамдығы маңызды рөл атқаратын таратылған жүйелер үшін өте маңызды. Кванттық шабуылға төзімділік-Verkle ағаштарын болашақ криптографиялық жүйелер үшін перспективалық шешім ететін тағы бір маңызды аспект. Дискретті логарифмнің немесе факторизацияның күрделілігіне негізделген дәстүрлі схемалардан айырмашылығы, олар постквантты криптографиялық механизмдерге бейімделуі мүмкін, бұл олардың ұзақ мерзімді сенімділігін арттырады. Verkle ағаштарының осы қасиеттері жоғары тиімділікті, ықшамдылықты және қауіпсіздікті қажет ететін әртүрлі криптографиялық қолданбалар үшін таңдаулы шешім болады және криптография мен блокчейн технологиясының ең перспективалы бағыттарының біріне айналдырады деп болжанады.

Келесі 2-кестеде ҚҚТ негізінде құрылған Verkle ағашындағы векторлық міндеттемелердің қолдану аймағына қатысты ерекшеліктері көрсетілген. Бұл мәліметтермен қоса осы қолдану аймақтарындағы ҚҚТ-ның өзіндіе қасиеттеріде көрсетілген.

2 - кесте. ҚҚТ-нің Verkle ағашындағы векторлық міндеттемелерде қолданылу ерекшеліктері

Қолдану аймағы	**ҚҚТ ықпалы**	**Verkle ағашындағы ҚҚТ негізіндегі векторлық міндеттемелерге әсері**
Міндеттемелерді есептеуді оңтайландыру кезінде	Үлкен өріс элементтерін бірнеше кіші өрісте есептеуге мүмкіндік береді.	KZG міндеттемелерінің тиімділігін арттырады. Вектордағы әрбір элементті бөлек есептеуге мүмкіндік береді.
Дәлелдеуді жылдамдату кезінде	Қалдықтар жүйесі арқылы есептеулерді параллель жүргізуге болады.	Көпмүшелік дәлелдеулер аз ресурспен орындалады. Вектордағы барлық элементтерді бір уақытта дәлелдеуге мүмкіндік береді.
Деректерді қысу кезінде	Бірнеше шағын мәндерге жіктеп, сақтау тиімділігін арттырады.	Verkle түйіндерінің өлшемін азайтады. Бірнеше элементті бір міндеттемені біріктіру арқылы сақтау кеңістігін үнемдейді.
Қалпына келтіру механизмдерімен жұмыс істегенде	Жоғалған немесе бүлінген деректерді модульдік ақпарат арқылы қалпына келтіру.	Verkle ағашындағы түйіндердің сенімділігін арттырады. Міндеттememен жеке элементтерді қалпына келтіруге мүмкіндік береді.
Zero-Knowledge дәлелдері	Қалдықтар жүйесін қолдану арқылы есептеуді оңайлатады.	zk-SNARKs ішіндегі көпмүшелік дәлелдеуді жақсартады. Векторлық дәлелдерді оңтайландырады

Verkle ағашының есептеу тиімділігін басқа ағаш құрылымдарымен салыстыру төмендегі 3-кестеде көрсетілген.

3 - кесте. Басқа құрылымдармен салыстыру кестесі

Ағаш түрі	Дәлел ұзындығы	Ықшамдылық
Merkle ағашы	$O(\log_2 n)$	Төмен
Patricia ағашы	$O(\log_2 n)$	Орташа
Verkle ағашы	$O(1)$	Жоғары

Деректерді қысу бастапқы ақпаратты жоғалтпай, оны ықшамдау процесі. Бұл әдіс сақтау кеңістігін азайтуға және деректерді жылдамырақ тасымалдауға мүмкіндік береді. Verkle ағашындағы деректерді қысу – міндеттемелерді сақтау кезінде орын алатын құрылымдық оңтайландыруды білдіреді. Бұл процесс бірнеше негізгі тәсілдер арқылы жүзеге асады:

- Verkle ағаштары деректерді вектор түрінде көрсетіп, міндеттемелердің қысқа болуын қамтамасыз етеді. Бұл Merkle ағашына қарағанда аз кеңістік қажет етеді.

- Қытайдың қалдықтар теоремасы негізінде модульдік арифметика қолдану арқылы деректердің өлшемін кішірейтуге болады.

- *O(1)* күрделілікпен дәлел ұсыну, яғни дәлелдер ұзындығы тұрақты болғандықтан, оларды сақтау және тексеру үшін аз орын қажет.

Verkle ағашы Merkle және Patricia ағаштарымен салыстырғанда қысқа міндеттемелер арқылы есептеу тиімділігін арттырады, бұл желілерде жүктемені азайтуға және блокчейн жүйесінде транзакция жылдамдығын арттыруға мүмкіндік береді.

Қауіпсіздік аспектілері. Құрылған міндеттеменің беріктілігін бағалау үшін байланыстылық (binding), жасырындылық (hiding) және шабуылдарға беріктілік тұрғысынан қарастырайық.

1. Байланыстылық (Binding Property), басқаша айтқанда міндеттеме ашылғаннан кейін оны өзгерту мүмкін бе?

Егер шабуылшы C мәнін өзгертпей-ақ басқа π_i-лерге сәйкес келетін жаңа бастапқы дерек таба алса, міндеттеменің байланыстылығы бұзылады.

ҚҚТ ерекшелігі теңдеулер жүйесінде қолданылатын модульдер өзара жай сандар болса шешімі бірегей болады. Яғни, бірдей модульдер жиыны үшін C мәні өзгермейді. Біздің жағдайда, $m_1, m_2, \dots, m_k$ модульдері жай сандар болғандықтан, $C \equiv \pi_i \, (mod m_i)$ теңдеулер жүйесінің бір ғана шешімі бар және бұл міндеттемені қайта есептегенде сол мәннің өзін алатынымызды білдіреді.

Егер модульдер өзара жай болмаса, онда теңдеулер жүйесінің бірнеше шешімі болуы мүмкін еді, бұл міндеттемені өзгертуге мүмкіндік береді. Сонымен бірге, модульдер тым кіші болса, міндеттемені бұзу оңайырақ болады.

Қорыта айтқанда, егер $m_1, m_2, \dots, m_k$ үлкен және жай сандар болса, байланыстылық (binding) сақталады.

2. Жасырындылық (Hiding Property), яғни міндеттемені көріп, бастапқы деректі білуге мүмкіндігін қарастыру.

ҚҚТ негізіндегі міндеттемеде жасырындылық келесідей қамтамасыз етіледі:

- Ашық параметр $\pi_i = h_i \oplus g_i$ түрінде берілген.

- g_i псевдокездейсоқ болғандықтан, π_i мәнінен бастапқы деректі алу қиын.

Қандай жағдайда осалдық танытуы мүмкін:

1. Егер g_i-ді алуда әлсіз генератор қолданылса немесе болжамды болса, шабуылшы h_i-ды табу мүмкіндігі бар.

2. Егер модульдер өте кіші болса, шабуылшы міндеттемені брутфорс арқылы тексере алады.

Жасырындылыққа берік болу үшін:

- g_i мықты криптографиялық псевдокездейсоқ генератор арқылы жасалуы қажет.

- Модульдер жеткілікті үлкен болуы қажет.

3. Шабуылдарға тұрақтылық (Attack Resistance).

а) Кері есептеу шабуылы (Reverse Engineering Attack)

Міндеттемені біле отырып, бастапқы деректі қалпына келтіру мүмкін бе?

ҚҚТ теңдеуі:

$$C \equiv \pi_i \left(mod m_i\right), i = \overline{1,k}$$

Егер k-нің мәні кіші болса, C-ны көріп, барлық мүмкін π_i-лерді тексеруге болады.

Бұдан қорғану үшін: Үлкен k таңдау (мысалы, $k \geq 5$); Үлкен m_i таңдау (мысалы, 256-биттік жай сандар).

ә) Міндеттемені қолдан жасау шабуылы (Forgery Attack)

Басқа біреудің міндеттемесіне сәйкес келетін жаңа мән жасау мүмкін бе?

ҚҚТ жүйесі бірегей шешім береді, сондықтан міндеттемені қолдан жасау үшін:

- Жалған π'_i таңдау керек, бірақ олардан C қайта есептелгенде бұрынғыдай шығуы қажет.

- Бұл $m_1, m_2, \ldots, m_k$ өзара жай болғанда мүмкін емес.

б) Модульдер таңдау осалдығы (Small Moduli Attack)

Егер модульдер өте кіші болса не болады?

Егер модульдер өте кіші болса, шабуылшы міндеттеменің мүмкін мәндерін брутфорс арқылы тексеріп, h_i-ді табу мүмкіндігі бар. Бірақ, h_i бастапқы ақпараттың хеш мәні болғандықтан ақпараттың өзіне қол жеткізе алмайды.

Осы талдаулардың нәтижесінде, құрылған алгоритмнің шабуылдарға берік болуы үшін кем дегенде әр m_i үшін 256-биттік жай сандарды және k-ны 5-тен жоғары етіп таңдау қажет.

4-кестеде модуль ұзындығының (бит бойынша) есептеу уақыты, жад тұтынуы және қауіпсіздік деңгейіне әсері көрсетілген. Мәліметтер $k = 100$ болған жағдайда есептелінді.

4 - кесте. Әртүрлі модуль ұзындықтарының салыстырмасы

Модуль ұзындығы (бит)	Есептеу уақыты (мс)	Жады тұтынуы (МБ)	Қауіпсіздік деңгейі
128	15	0.03	Орташа
256	146	0.05	Жоғары
512	2364	0.1	Өте жоғары

Жалпы алғанда, модуль неғұрлым үлкен болса, байланыстылық және жасырындылық қасиеттері күшейеді, яғни, міндеттемені бұзу немесе бастапқы деректі табу қиындайды. Бірақ үлкен модульдер: есептеу уақытын ұзартады (операциялар ауырлайды); көбірек жад тұтынады; кей жағдайда тым үлкен модуль (1024 бит және одан жоғары) практикалық тұрғыда тиімсіз болады. Сондықтан 256 бит (немесе 512 бит) қазіргі NIST (National Institute of Standards and Technology) стандарттарына сай ең оңтайлы таңдау болып есептеледі.

Қорытынды. Verkle ағаштары – бұл заманауи криптографиялық деректер құрылымдарының маңызды элементі, әсіресе блокчейн технологиясында масштабтау мәселелерін шешуге бағытталған. Олардың негізгі артықшылығы векторлық міндеттемелер арқылы үлкен деректер жиынтығын қысқаша және тиімді түрде растауға мүмкіндік беруі. Бұл мақалада біз Verkle ағаштарындағы векторлық міндеттемел құрудың артықшылықтарын, соның ішінде Қытайдың қалдықтар теоремасына және позициялы емес санау жүйелері сияқты математикалық тұжырымдарды қолданудың тиімділігін қарастырдық.

Бұл зерттеуде ұсынылған схеманы жүзеге асыру үшін нақты криптографиялық алгоритмдер мен параметрлер таңдалды. Атап айтқанда, схемада SHA3-256 криптографиялық хеш-функциясы қолданылды, яғни оның жұмыс нәтижесі 256 биттік хеш мәнін береді. Ол қазіргі уақытта кеңінен зерттелген, постквантық қауіпсіздікке сай және деректердің тұтастығы мен аутентификациясын сенімді қамтамасыз етеді. Міндеттемелерді есептеу үшін пайдаланылған модульдер ұзындығыда осы хеш мәндерге сәйкес 256 бит болып таңдалды. Бұл көрсеткіш есептеу тиімділігі мен қауіпсіздік деңгейінің оңтайлы теңгерімін береді.

Verkle ағаштарының негізгі ерекшеліктері: Орталықтандырылмаған деректерді жинақтау, яғни әрбір түйін векторлық міндеттемелердің көмегімен деректерді қысылған түрде сақтайды; Түбірлік мәнді пайдалану арқылы дәлелдеу уақыты қысқарады; Масштабталу мүмкіндігі бар, үлкен деректер жиынтығын сақтау және тексеру оңай болады. Verkle ағаштары көбінесе блокчейн технологиясында қолданылады, себебі олар қысқа дәлелдер арқылы желідегі түйіндердің жүктемесін азайтуға көмектеседі.

Қытайдың қалдықтар теоремасы модульдік арифметикаға негізделген және үлкен сандарды бірнеше кіші модульдер жиынтығы ретінде көрсетуге мүмкіндік береді. Бұл қасиет Verkle ағаштарындағы міндеттемелерді оңтайландыруға ықпал етеді.

Позициялы емес санау жүйелері сандарды көрсету әдісі ретінде Verkle ағаштарының тиімділігін арттыруға көмектеседі. Әсіресе, қалдықтар кластарының жүйесі Verkle міндеттемелеріне қолайлы. Verkle ағаштарында үлкен көлемдегі деректерді қысу маңызды. ҚҚЖ арқылы әрбір түйіндегі деректер модульдік мәндер ретінде сақталып, жалпы деректер құрылымының сыйымдылығы оңтайландырылады. Векторлық міндеттемелер құруда ПЕСЖ-нің қасиеттерін пайдалану міндеттемелерді тез генерациялауға мүмкіндік береді.

Бұл тәсілдердің нәтижесінде Verkle міндеттемелері жоғары тиімділікті, қауіпсіздікті және деректерді өңдеудің жылдамдығын қамтамасыз ететін қуатты құралға айналады. Verkle ағаштарының болашағы олардың блокчейн технологиясында кеңінен қолданылу мүмкіндігіне байланысты. Қысқа дәлелдер мен тиімді міндеттемелердің арқасында олар үлкен масштабтағы желілерде түйіндердің жүктемесін азайтуға көмектеседі. Блокчейн экожүйесінде Verkle ағаштарын енгізу желінің жылдамдығын арттырумен қатар, есептеу ресурстарын үнемдеуге және транзакциялардың тиімділігін жақсартуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, олар блокчейндердің орталықтандырылмаған табиғатын сақтай отырып, масштабталу мәселелерін шешудің жаңа тәсілдерін ұсынады. Құпиялылық пен деректерді қорғау саласында Verkle ағаштары маңызды рөл атқара алады, себебі олар міндеттемелердің қауіпсіздігін арттырып, деректерді тиімді басқаруға жағдай жасайды. Осы артықшылықтардың арқасында Verkle ағаштары болашақта блокчейн жүйелерінің ажырамас бөлігіне айналып, жаңа шешімдердің негізі бола алады.

Постквантық алгоритмдердің негізгі бағыттарының бірі торларға негізделген криптография болып табылады. Осыған байланысты алдағы зерттеулерде векторлық міндеттемелерді дәл осы теория негізінде құру және мақалада ұсынылған әдіспен жан-жақты салыстыру жоспарлануда. Салыстыру барысында міндеттеменің өлшемі, дәлел ұзындығы, дәлелдеу мен тексеру уақыты, есептеу күрделілігі, жады талаптары және қауіпсіздік деңгейі сияқты негізгі параметрлер ескеріледі. Бұл салыстыру қай тәсілдің тиімділігін жан-жақты анықтауға мүмкіндік береді. Ең нәтижелі деп танылған шешім одан әрі жетілдіріліп, аппараттық деңгейде жүзеге асыруға бейімделеді және аппараттық оңтайландыру жолдары қарастырылатын болады.

Қаржыландыру. *Бұл мақала AP23488112 «Verkle ағашы негізінде кванттық төзімді цифрлық қолтаңба схемасын құру және зерттеу» гранттық қаржыландыру жобасы негізінде жүргізілді.*

Әдебиеттер

1. Cotan P. and Teşeleanu G. A security analysis of two classes of RSA-like cryptosystems // Journal of Mathematical Cryptology. - 2024. - Vol.18 (1): 20240013. DOI 10.1515/jmc-2024-0013.

2. Wardhani R. W., Septono Catur Putranto D., Cho J. and Kim H. A Highly Efficient ECPM Quantum Circuit for Binary Elliptic Curve Cryptanalysis // IEEE Access. - 2024. - Vol.12. - P.161569-161583. DOI 10.1109/ACCESS.2024.3489552.

3. Larasati H. T. and Kim H. Quantum cryptanalysis landscape of shor'salgorithm for elliptic curve discrete logarithm problem // International Conference on Information Security Applications. – 2021. - Springer. - P.91-104. DOI 10.1007/978-3-030-89432-0_8.

4. Putranto D.S.C., Wardhani R.W., Larasati H.T., Ji J. and Kim H. Depth-optimization of quantum cryptanalysis on binary elliptic curves // IEEE Access. - 2023.- Vol.11. -P.45083–45097. DOI 10.1109/ACCESS.2023.3273601.

5. Algazy K., Sakan K., Khompysh A., Dyusenbayev D. Development of a New Post-Quantum Digital Signature Algorithm: Syrga-1 // Computers.- 2024. -Vol.13(1):26.- P.1-14. DOI 10.3390/computers13010026.

6. Algazy K., Sakan K., Nyssanbayeva S. and Lizunov O. Syrga2: Post-Quantum Hash-Based Signature Scheme//Computation.-2024.-Vol.12(125).- P.1-17. DOI 10.3390/computation12060125.

7. Buchmann J., Dahmen E., Szydlo M. Hash-based Digital Signature Schemes // Post-Quantum Cryptography. - 2009.-P.35-93. DOI 10.1007/978-3-540-88702-7_3.

8. Lee J., Park Y. HORSIC+: An Efficient Post-Quantum Few-Time Signature Scheme // Applied Science. - 2021. - Vol.11 (16): 7350. DOI 10.3390/app11167350.

9. Kuszmaul J. Verkle trees. - 2019. - P.1–12. https://math.mit.edu Kuszmaul.pdf.- Қаралған күні: 22.04.2024.

10. Kuznetsov O., Kanonik D., Rusnak A., Yezhov A., Domin O., Kuznetsova K. Adaptive Merkle trees for enhanced blockchain scalability // Internet of Things. - 2024. - Vol.27: 101315. DOI 10.1016/j.iot.2024.101315.

11. Bünz B., Bootle J., Boneh D., Poelstra A., Wuille P. and Maxwell G. Bulletproofs: Short Proofs for Confidential Transactions and More // IEEE Symposium on Security and Privacy (SP). - San Francisco. - 2018. - P.315-334. DOI 10.1109/SP.2018.00020.

12. Zhao X., Zhang G., Long H.-W., Si Y.-W. Minimizing block incentive volatility through Verkle tree-based dynamic transaction storage // Decision Support Systems. – 2024. – Vol.180: 114180. DOI 10.1016/j.dss.2024.114180.

13. Iavich M., Kuchukhidze T., Bocu R. A Post-Quantum Digital Signature Using Verkle Trees and Lattices // Symmetry. - 2023. - Vol.15 (12): 2165. DOI 10.3390/sym15122165.

14. Chang C. -H., Molahosseini A. S., Zarandi A. A. E. and Tay T. F. Residue Number Systems: A New Paradigm to Datapath Optimization for Low-Power and High-Performance Digital Signal Processing Applications // IEEE Circuits and Systems Magazine. – 2015. – Vol.15 (4). - P.26-44. DOI 10.1109/MCAS.2015.2484118.

15. Omondi A. and Premkumar B. Residue Number Systems: Theory and Implementation // Advances in Computer Science and Engineering: Texts – 2007. –Vol.2. DOI 10.1142/p523.

16. Biyashev R.G., Kalimoldayev M.N., Nyssanbayeva S.E., Kapalova N.A., Dyusenbayev D.S., Algazy K.T. Development and analysis of the encryption algorithm in nonpositional polynomial notations // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications. - 2018. -T.6(2). – P.19-33. DOI 10.32523/2306-6172-2018-6-2-19-33.

17. Biyashev R.G, Kapalova N.A, Duysenbayev D.S, Algazy K.T, Wojcik W., Smolarz A. Development and Analysis of Symmetric Encryption Algorithm Qamal Based on a Substitution-permutation Network // International journal of electronics and telecommunications. – 2021. Vol.67 (1). - P.127-132. DOI 10.24425/ijet.2021.135954.

Авторлар туралы мәліметтер

Алғазы К.Т. - PhD, қауымдастырылған профессор, Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан, e-mail: kunbolat@mail.ru;

Сақан Қ.С. - PhD, аға ғылыми қызметкер, Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан, e-mail: kairat_sks@mail.ru;

Капалова Н.А. - техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан, e-mail: nkapalova@mail.ru;

Алимжан Е.Ж. әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің магистранты, Алматы, Қазақстан, e-mail: ayerkebulan19@gmail.com.

Information about the authors

K. Algazy - PhD, associate professor, Institute of information and computational technologies, Almaty, Kazakhstan, e-mail: kunbolat@mail.ru;

K. Sakan - PhD, senior researcher, Institute of information and computational technologies, Almaty, Kazakhstan, e-mail: kairat_sks@mail.ru;

N. Kapalova - candidate of technical sciences, associate professor, Institute of information and computational technologies, Almaty, Kazakhstan, e-mail: nkapalova@mail.ru;.

Y. Alimzhan - master’s student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ayerkebulan19@gmail.com.

МРНТИ 20.21.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1155**

ADAPTIVE ALLOCATION OF REGIONAL BUDGET USING DYNAMIC PROGRAMMING AND GENETIC ALGORITHM

A.E. Abdualiyev, G.K. Sembina
International Information Technologies University, Almaty, Kazakhstan
Corresponding author: dellivine@mail.ru

The optimal regional budget allocation problem is examined in this article, with consideration given to public opinion, strategic priorities, ROI, and long-term sustainability. A mathematical model with two tiers is suggested, with the first tier overseeing the transfer of budget across districts and the second tier managing distribution among sectors within districts. Genetic algorithms (GA) and dynamic programming (DP) are used for optimization.

Data from Kazakhstan' s Almaty region for the years 2022–2024 were used to evaluate the model. Five criteria - utility, inter-district discrepancy, deviation from strategic goals, stability, and computation time were used to conduct a comparative analysis. Although DP achieves the maximum total utility (up to 114.84 conventional units), it also deviates from strategic shares by up to 1.58 and has an inter-district difference of up to 1.25×10^{11} tenge. GA, on the other hand, offers nearly perfect alignment with strategic goals (deviation of 0.03) and 2.5 times smaller disparity, although having lower utility (on average, 4–5% below DP). GA is five times faster than DP, with a constant computation time of 56 seconds.

While DP is appropriate for long-term forecasting scenarios, the acquired results validate the applicability of GA in actual digital public administration situations. The created approach can be applied to participatory budgeting and decision support systems.

Keywords: budget allocation, dynamic programming, genetic algorithm, sectors of activity, strategic goals, participatory budgeting, disparity, optimization.

ДИНАМИКАЛЫҚ БАҒДАРЛАМАЛАУ МЕН ГЕНЕТИКАЛЫҚ АЛГОРИТМ АРҚЫЛЫ АЙМАҚТЫҚ БЮДЖЕТТІ БЕЙІМДІ БӨЛУ

А.Е. Абдуалиев, Г.К. Сембина
Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: dellivine@mail.ru

Бұл мақалада аймақтық бюджетті оңтайлы бөлу мәселесі қарастырылады, мұнда қоғамдық пікір, стратегиялық басымдықтар, инвестицияның қайтарымы (ROI) және ұзақмерзімді тұрақтылық ескерілген. Екі деңгейлі математикалық модель ұсынылған: бірінші деңгейде бюджет аудандар арасында бөлінеді, ал екінші деңгейде - әр аудан ішіндегі қызмет салаларына таратылады. Модельді оңтайландыру үшін динамикалық бағдарламалау (DP) мен генетикалық алгоритмдер (GA) қолданылады.

Модельді бағалау үшін Қазақстанның Алматы облысына қатысты 2022–2024 жылдар аралығындағы нақты деректер пайдаланылды. Салыстырмалы талдау бес критерий бойынша жүргізілді: пайдалық, аудандар арасындағы айырмашылық, стратегиялық мақсаттардан ауытқу, тұрақтылық және есептеу уақыты. DP ең жоғары пайдалыққа (114.84 шартты бірлікке дейін) қол жеткізгенімен, стратегиялық үлестерден ауытқуы 1.58-ге дейін, ал аудандар арасындағы айырмашылық 1.25×10^{11} теңгеге дейін жетті. GA стратегиялық мақсаттарға барынша сәйкес келеді (ауытқу - 0.03) және диспропорцияны 2.5 есе азайтады, дегенмен пайдалығы орта есеппен DP-ден 4-5% төмен. GA-ның есептеу уақыты тұрақты -56 секунд, бұл DP-ден шамамен бес есе жылдам

DP ұзақ мерзімді болжау үшін жарамды болса, GA нақты цифрлық мемлекеттік басқару жағдайларында қолдануға тиімді екендігі дәлелденді. Ұсынылған әдісті партисипаторлық бюджеттеу мен шешім қабылдауды қолдау жүйелерінде пайдалануға болады.

Түйін сөздер: бюджетті бөлу, динамикалық бағдарламалау, генетикалық алгоритм, қызмет салалары, стратегиялық мақсаттар, партисипаторлық бюджеттеу, диспропорция, оңтайландыру.

АДАПТИВНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО БЮДЖЕТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

А.Е. Абдуалиев✉, Г.К. Сембина

Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан,
e-mail: dellivine@mail.ru

В статье рассматривается задача оптимального распределения регионального бюджета с учётом общественного мнения, стратегических приоритетов, показателя ROI и долгосрочной устойчивости. Предлагается двухуровневая математическая модель, в которой первый уровень отвечает за распределение бюджета между районами, а второй - за распределение внутри районов по отраслям деятельности. Для оптимизации используются методы генетического алгоритма (GA) и динамического программирования (DP).

Для оценки модели использовались данные по Алматинской области Казахстана за 2022–2024 годы. Сравнительный анализ проведён по пяти критериям: полезность, межрайонная диспропорция, отклонение от стратегических целей, стабильность и время расчёта. Метод DP позволяет достичь максимальной суммарной полезности (до 114.84 условных единиц), но сопровождается отклонением от стратегических долей до 1.58 и межрайонной разницей до 1.25×10^{11} тенге. GA, напротив, обеспечивает почти полное соответствие стратегическим целям (отклонение - 0.03) и в 2.5 раза меньшую диспропорцию, несмотря на несколько меньшую полезность (в среднем на 4-5% ниже, чем у DP). Кроме того, GA стабильно работает в 5 раз быстрее - 56 секунд против 274-299 у DP.

DP подходит для сценариев долгосрочного прогнозирования, тогда как полученные результаты подтверждают применимость GA в условиях цифрового государственного управления. Разработанный подход может быть использован в системах партисипаторного бюджетирования и поддержки принятия решений.

Ключевые слова: распределение бюджета; динамическое программирование; генетический алгоритм; отрасли деятельности; стратегические цели; партисипаторное бюджетирование; диспропорция; оптимизация.

Introduction. Data and optimization algorithms are being used more and more in modern public administration to manage and distribute budgetary resources. At the regional level, when population interests, strategic aims, and economic efficiency must all be taken into account at the same time, this is especially important. Regional budget distribution methods are still dominated by administrative approaches that ignore multi-criteria aspects, even in the face of the advent of digital budgeting alternatives. This raises the possibility of wasteful resource use and escalating social unrest.

The study' s objective is to create and evaluate a two-level model for regional budget distribution that takes into consideration economic efficiency, strategic priorities, and citizen preferences.

Analyzing current methods for budget planning and participatory fund allocation is one of the research' s goals. Another is creating a utility function that takes into account the strategic objectives and opinions of the public.

The work' s importance resides in creating a useful model for digital budget management that can be used to regional planning procedures and broadened to incorporate other elements including social, demographic, and climatic concerns.

Local executive bodies, known as masalikhats, are in charge of managing budget allocation in districts and cities [1,2]. For a five-year term,

the people of different administrative-territorial divisions directly elect the members of Maslikhats, which are district representation bodies. A number of literary materials pertaining to the promotion and receiving of budget funds specifically by Maslikhats were reviewed because the article focuses on the distribution of regional finances within an area.

Nowadays, it is uncommon to see representatives of local executive bodies at frequent maslikhat gatherings. These delegates travel to particular trouble spots to evaluate the state of affairs and examine information gathered for future sessions. The region' s material, cultural, and socioeconomic conditions worsen as a result of these lawmakers'https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1155 careless actions. The public' s lack of faith in government agencies is also a result of the opaque financial allocation process.

The effectiveness of participatory budgeting as a mechanism for citizen participation has been thoroughly examined in the literature [3], since its inception almost thirty years ago. Although there are certain difficulties in putting participatory budgeting into practice, it has a favorable effect on local development [4].

Budgetary resources for cities and districts must be distributed in a way that maximizes the fulfillment of population needs over a wide range of activity areas (AA). One of the most important aspects of budget distribution is the ability for city dwellers to voice their thoughts through voting for priority regions.

The purpose of this research is to create a mathematical model for dynamic district budget allocation using multi-criteria optimization techniques and dynamic programming (DP).

The authors' work in papers [5] and [6], which use non-zero-sum game models and a linear programming model, respectively, is expanded upon in this study.

Materials and methods. To construct the models, official data on budgets, citizen votes, and district priorities of the Almaty region for 2022-2024 were used [7,8].

In total, the following were considered:

- 8 districts: Zhambyl, Kegen, Ili, Karasay, Raiymbek, Talgar, Uyghur, and the city of Kapchagay;

- 7 areas of activity (AA): education, healthcare, transport, infrastructure, digitalization, culture, ecology;

- total budgets by year (scaled to millions of tenge):

- 2022: 181,116.5,

- 2023: 343,168.5,

- 2024: 379,851.2.

Additionally, data on votes and budgets were provided (Tables 1-3):

In line with contemporary methods of sustainable budgeting, a set of criteria (economic, social, and environmental) is employed to guarantee a fair assessment of projects [9]. According to experts, attaining sustainable development necessitates a tight coordination between financial resources and strategic objectives [10].

Table 1 - Voting and budget data for 2022

Districts	Citizens' votes (18 to 50 years old)	District budget (thousand tenge)
Zhambyl	21586	6 814 805
Kegen	3702	4 012 858
Ili	34702,8	154 875 048
Karasay	41904	2 800 000
Raiymbek	3714	4 342 317

Talgar	31176	4 179 912
Uyghur	8073	4 914 391
Kapchagay city	9649	2 677 135

Table 2 - Voting and budget data for 2023

Districts	Citizens' votes (18 to 50 years old)	District budget (thousand tenge)
Zhambyl	21272	13 531 892
Kegen	3468	8 356 368
Ili	34958	241 831 859
Karasay	42704	36 096 011
Raiymbek	3458	6 675 575
Talgar	31735	17 741 840
Uyghur	7791	3 914 441
Kapchagay city	9556	18 520 512

Table 3 - Voting and budget data for 2024

Districts	Citizens' votes (18 to 50 years old)	District budget (thousand tenge)
Zhambyl	20924	21 510 839
Kegen	3299	8 963 667
Ili	29383	259 658 978
Karasay	43485	37 620 311
Raiymbek	3257	4 773 487
Talgar	32015	19 376 414
Uyghur	7511	4 125 466
Kapchagay city	9575	27 22 042

The region's long-term interests are reflected in strategic goals (e.g., enhancing education quality, developing infrastructure, etc.). They serve as each sector' s objective budget share in the model: S_j=[0.20,0.25,0.30,0.10,0.05,0.05,0.05].

ROI (Return on Investment) models are used to compare project expenses and benefits in order to evaluate the return on budget investments [11]. The use of investment payback analysis to support government initiatives and programs is growing [12].

ROI is a measure of the financial return on investments made in each AA, such as digitalization or healthcare. A bigger sectoral contribution to economic growth is indicated by a higher ROI. ROI maximizes the budget' s economic benefits by giving priority to areas with greater financial efficiency: ROI_j=[0.15,0.25,0.35,0.10,0.05,0.05,0.05];

Budget planning should be in line with population well-being and sustainable development goals in the current environment [13]. As

exemplified by Sverdlovsk Oblast, several Russian areas have already amassed distinctive initiative budgeting experience [14].

Model parameters: α = 0.4 – coefficient of the importance of citizens' opinions (votes); β = 0.3 – weight of the penalty for deviation from strategic goals; γ = 0.3 – weight of the importance of ROI (economic return on investment); δ = 0.1 – weight of the penalty for instability (changes compared to the previous year); κ = 0.01 – ROI saturation coefficient (diminishing impact with large investments); λ = 0.2 – coefficient of the penalty for inter-district budget disparity; Δx = 100 million KZT - discretization step in dynamic programming.

At the local community level, optimization techniques like genetic algorithms are already being used to improve management effectiveness [15]. Dynamic programming-based sequential resource allocation techniques allow for the simultaneous optimization of budget spending uniformity and efficiency [16].

The utility function has the form:

$$U_{i.j} = \alpha \cdot w_{i.j} \cdot \ln\left(1 + x_{i.j}\right) - \beta \cdot \left(\frac{x_{i.j}}{B_i} - S_j\right)^2 + \gamma \cdot \frac{ROI_j \cdot x_{i.j}}{1 + \kappa x_{i.j}} - \delta \cdot \left(x_{i.j} - x_{i.j}^{prev}\right)^2 \quad (1)$$

where $U_{i.j}(x_{i.j})$ - total utility from allocating budget $x_{i.j}$ to AA j id i district; $x_{i.j}$ - budget volume (in million tenge) allocated to district i for j-AA; $w_{i.j}$ - normalized share of votes of citizens of district i for j-AA;B_i - total budget allocated to district$x_{i.j}^{prev}$ - budget value $x_{i.j}$ for this AA in last year.

A separate utility function of citizens justifies the participation of the population, the logarithm in the formula models saturation:

$$U_{i.j}^{\ maslikhat} = \alpha \cdot w_{i.j} \cdot \ln\left(1 + x_{i.j}\right) \quad (2)$$

Deviation from strategic goals (in favor of the maslikhat) entails a fine:

$$U_{i.j}^{\ strategy} = -\beta \cdot \left(\frac{x_{i.j}}{B_i} - S_j\right)^2$$

Considering the saturation effect and the declining marginal value, the economic return (ROI) incentivizes investment in efficient AA:

$$U_{i.j}^{\ ROI} = -\gamma \cdot \frac{ROI_j \cdot x_{i.j}}{1 + \kappa x_{i.j}} \quad (3)$$

Significant budgetary adjustments from the prior year are penalized by the sustainability feature:

$$U_{i.j}^{\ temp} = -\delta \cdot \left(x_{i.j} - x_{i.j}^{prev}\right)^2 \quad (4)$$

A penalty for inter-district disparity is also introduced, aimed at reducing imbalances between regions. It minimizes situations where one district receives significantly more or less funding compared to others:

$$Penalty_{region} = -\lambda \cdot \sum_i \left(B_i - \overline{B}\right)^2 \quad (5)$$

The DP model operates as a two-level optimization scheme, where:

1. level 1: Inter-district allocation of the total budget B_i among districts i;

2. level 2: Intra-district allocation of B_i among sectors of activity j.

The global maximum of utility is found using the dynamic programming methodology. The possibility of employing artificial intelligence to improve the effectiveness of budgetary decisions is currently being investigated globally [17]. Geographic information systems and ontological SDSS (Spatial Decision Support Systems) are used to improve the explanation of budget decisions and guarantee equitable inter-regional cash allocation [18].

At both levels, a recursive dynamic programming technique with memoization is used. This optimization technique divides the problem into smaller issues, each of which is resolved iteratively. To prevent doing calculations more than once, each intermediate solution is memorized. Important

characteristics include:

- functions either top-down or bottom-up (top-down in this model);

- uses a caching table to hold values that have already been calculated;

- ensures that the global maximum may be found using a discretized solution space;

- especially good at hierarchical tasks, like the sector of activity level in our model (district level).

For level 2 (intra-district):

The vector$\overrightarrow{x_i} = \{x_{i.j}\}$ is determined, at which:

$$\sum_{j=1}^{M} x_{i.j} = B_i \text{ and max } \sum_{j=1}^{M} U_{i.j}(x_{i.j}) \quad (6)$$

where:

- discretization is used by a step of Δx= 100 million tenge;

- for each subdirection, admissible budgets are sorted out;

- $V\,(j, b_{remain})$is cached - the best utility with a remainder in the j - th AA;

- at the output - the optimal vector $x_{i,j}$.

For level 1 (inter-district) the best utility is with the remainder and the j -th AA.

The objective function looks like this:

$$\max_{\sum B_i = B_i} \quad (7)$$

where:

- recursive optimization is carried out by i-th regions;

- a nested call to the next iteration of the dynamic programming method for each B_i causes optimization by activity areas (level 2);

- state-based memoization is used (i, B_{remain});

- the complexity and execution time of the method depends on the number of iterations and regions.

The study also uses the GA method for budget allocation in order to compare different approaches. It serves as a substitute in this work when the high dimensionality of the dynamic programming approach makes it too slow.

The following steps make up the algorithm:

- encoding of individuals: each individual is a vector $\vec{x} \in R^{N \cdot M}$. The vector is divided into regions, where each region is a subset of the activity areas $x_{i.j}$. Normalization is performed so that $\sum_i \sum_i x_{i.j} = B_i$.

- operators: tournament go selection is carried out (the best of two random ones). Crossover is one-point, between submatrices $x_{i.j}$. The Gaussian mutation $x' = x + \mathrm{N}\,(0, \sigma^2)$with reflection is used as a mutation.

Consequently, the objective function (that the genetic algorithm uses to assess the ”quality” (fitness) of every potential budget allocation choice $\vec{x}$ is known as the fitness function):

$$F\,(\vec{x}) = \sum_{i,j} U_{i.j}\left(x_{i.j}\right) - \lambda \cdot \sum_{i} \left(B_i - \overline{B}\right)^2 \quad (8)$$

Reaching the utility barrier, no improvement during 20 generations, or 200 generations are the terminating criteria.

Results and discussion. The Python language was selected to develop the software, taking into consideration the contents of all required tools and libraries for the job. Tables 5-8 display the models’ findings:

Table 5 - Execution time (in seconds)

Year	DP	GA
2022	274.96	56.00
2023	298.58	56.00
2024	298.89	56.00

Table 6 - Utility

Year	Actual	DP	GA
2022	98.27	114.78	109.24
2023	111.85	114.83	99.81
2024	103.83	114.84	108.57

Table 7 - Inter-district disproportion (tenge)

Year	Actual	DP	GA
2022	4092730961.10	28544519316.54	4124292068.20
2023	14620422792.66	102743987081.38	14806543126.95
2024	17994074137.40	125918918979.22	18092938578.13

Table 8 - Deviation from targets

Year	Actual	DP	GA
2022	0.54	1.57	0.03
2023	0.54	1.58	0.03
2024	0.54	1.58	0.03

The genetic algorithm (GA), which regularly finishes in 56 seconds, is substantially faster than the dynamic programming (DP) technique, which takes between 275 and 299 seconds. This renders DP computationally costly, particularly when considering nested optimization layers and memoization. The high expense of time, however, can serve as an excuse for the caliber of the choices made.

This indicates that, when considering citizen preferences, return on investment, and strategic objectives, DP optimization does, in fact, result in a more advantageous budget allocation. The real distribution, which is linked to administrative budget alignment, offers the least discrepancy. Additionally, GA exhibits a manageable degree of disproportion. Disproportion values in DP, on the other hand, are noticeably greater (particularly in 2023-2024) and are linked to a considerable bias in favor of districts with the highest total utility (e.g. Kapchagay). Genetic algorithms have demonstrated their ability to optimize infrastructure funding allocation, resulting in a more equitable distribution of resources [19].

GA offers the smallest departure from strategy objectives (0.03), which could be a sign of a consistent base or manual modification. Although DP exhibits more notable variations (1.57–1.58) due to its pursuit of global utility maximization at the expense of precise adherence to target proportions, Actual is likewise rather near to the ideal (0.54).

Figures 1–3 show the visual budget distribution:

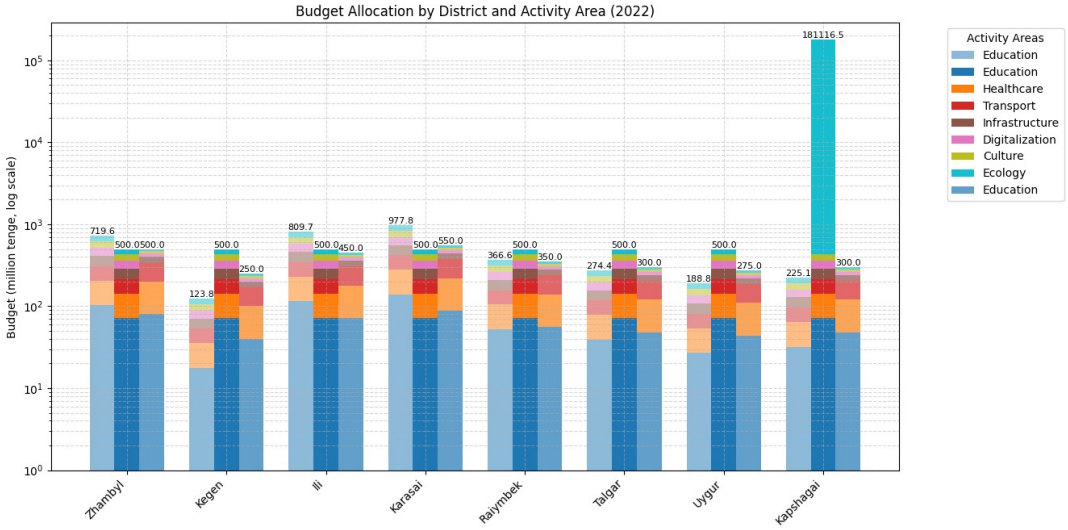


Fig.1 - budget distribution by AA for 2022

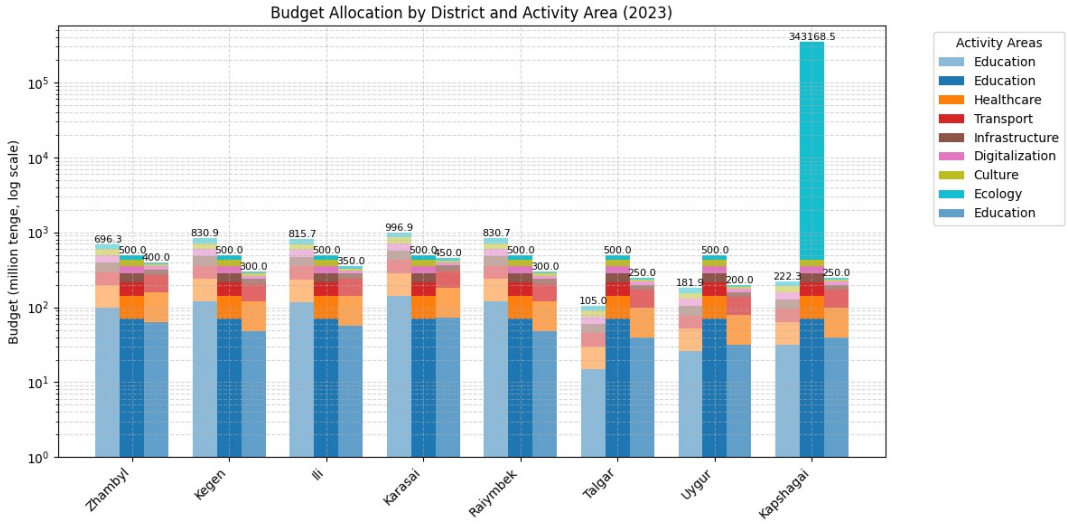


Fig.2 - budget distribution by AA for 2023

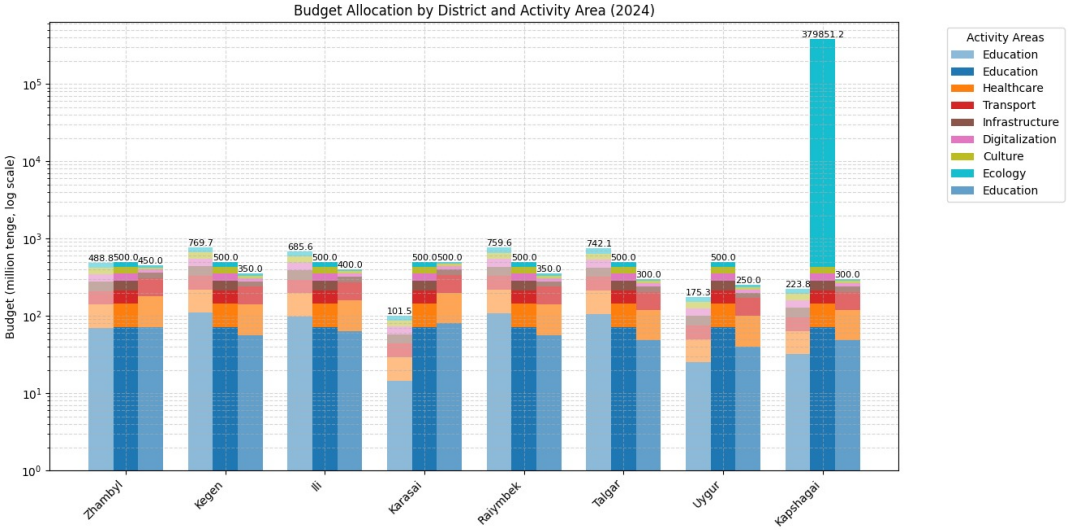


Fig.3 - budget distribution by AA for 2024

Recent studies have also observed that strategic development priorities are frequently not reflected in regional budgets [20]. The statistics demonstrate that there is significant district-to-district variability in the actual distribution. With the exception of Kapchagay, where unusual amounts are found, the DP model allots roughly the same budgets of 500 million tenge to each district annually. These irregularities result from DP' s failure to set a maximum budget per district; instead, the model "pours" everything where the utility function is greatest, particularly in cases where the return on investment is high. This disregards fairness in favor of efficiency. GA avoids extreme values and exhibits balanced behavior, much like the real one.

According to sources, GA frequently offers a more balanced answer than rigorous optimization techniques when analyzing the resulting budget distribution and contrasting the approaches (as in our case: GA reduced the gaps between districts compared to DP).

As a result of the symmetric utility function, it is evident that DP is distributed evenly among districts (by regions), with each area receiving 71.4 million tenge. The distribution is different in GA; more

funds are given to transportation, healthcare, and education, which are closer to the priorities of the populace and return on investment.

A utility function and inter-district disparity analysis is used to compare the two models, as seen in Figure 4:

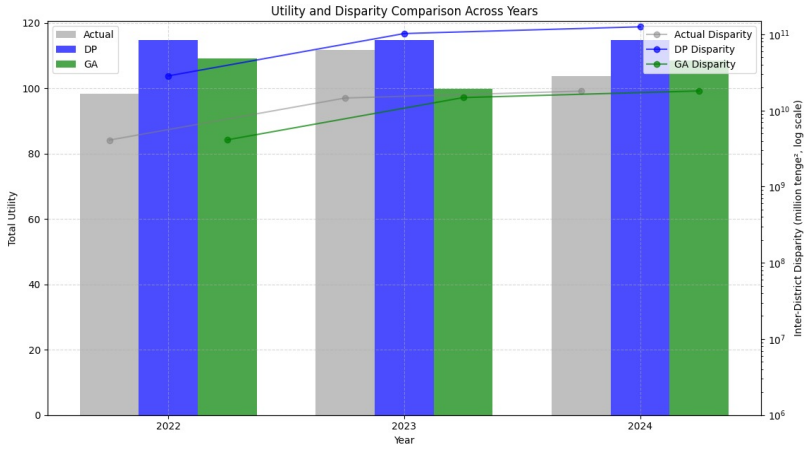


Fig.4 -Comparison graph of utility function and inter-district disparity (on a logarithmic scale) for three budget allocation strategies - Actual, DP and GA (Bars (left axis, Total Utility scale): show the total utility for each strategy in each year. Lines (right axis, Disparity scale on a logarithmic scale): show the level of inter-district disparity for each strategy)

Table 9 - Comparative table of the models' operation

Parameter	Actual	DP	GA
Utility	moderate	high	high
Disproportion	low	high	low
Deviation from strategic goals	moderate	high	minimal
Stability over the years	high	low (racing)	high
Calculation time	-	222–234 sec.	56 sec.
Practical application	exist	requires some improvement	applicable

When it comes to allocating resource limits, comparative research demonstrates that evolutionary algorithms can compete with approximate dynamic programming techniques.

DP exhibits the highest utility (≈114.8) during the course of the three years. This demonstrates how well the dynamic programming approach maximizes overall utility. Although GA performs well, it is marginally less effective than DP. The biggest discrepancy is seen in DP. This will be particularly noticeable in 2023 and 2024. This implies that the algorithm tends to concentrate budgets in specific districts while maximizing utility, disregarding the uniformity criterion. GA maintains a balance between equality and utility by offering moderate disparity.

The conflict between efficiency and justice is seen in the graph: DP has a high efficiency but a high disproportion.

GA is a balance between equality and efficiency. Actual: reasonable disparity, low efficiency. A comparative table of the models' performance by a number of important criteria has been put in place for a more thorough examination of the models'

performance, and it is displayed in Table 9:

Particularly when there are no constraints, the DP model functions effectively as a theoretical maximum. However, only with the addition of further limitations (max/min per district, fairness indicators, etc.) is its practical implementation feasible.

In turn, GA provides a middle ground between social sustainability and efficiency. It may be used with digital budgeting tools, is stable, converges rapidly, and readily adjusts to new objectives.

The necessity to create and apply data-driven decision-making models is highlighted by the fact that the real distribution frequently turns out to be less than ideal and does not match strategic shares, ROI, or public sentiment.

Conclusion. This work focused on developing, implementing, and comparing models of optimal budget allocation between Almaty region districts using two different approaches: genetic algorithms (GA) and dynamic programming (DP). As a baseline for comparison, data on the actual (Actual) allocation of budget funds for 2022, 2023, and 2024 were also utilized. Citizens' votes, strategic objectives, ROI, inter-district equality, and finance inertia were all considered in the model.

In every period under study, the dynamic programming model showed the highest integrated utility values. In 2022, the actual distribution' s generalized utility was 98.3, while GA' s was 109.2. Similar numbers for DP, GA, and Actual in 2023 and 2024 were 114.8 and 114.8, 99.8 and 108.6, and 111.9 and 103.8, respectively. In terms of optimizing the interests of people, maslikhats, and businesses involved in the utility function, these findings show that the DP method performs better than two other strategies. As a result, it guarantees optimal budget utilization.

The dynamic programming approach resulted in a notable rise in inter-district disparity despite the high utility values. In the DP model, there was a significant concentration of resources in some districts, particularly in the city of Kapchagay, where funding in 2022 exceeded 181 thousand million tenge, which is tens of times higher than other values, even though the actual data showed that the budget distribution differences between districts stayed within moderate bounds. This is because DP aims to optimize overall utility by allocating funds to districts with the highest ROI and citizen weights, rather than setting a maximum budget cap per district.

Visually, the figures demonstrate that inter-district disparity (lines on the right axis) rises in tandem with utility (high blue bars). Specifically, under DP, inter-district disparity surpassed 10^{11} tenge in 2023 and 2024, which is 7-10 times greater than in the GA and Actual models. High efficiency is thus attained at the expense of social and regional fairness, which may not be acceptable from the perspective of the state' s balanced development principles.

The distribution' s level of alignment with predetermined strategic objectives, as shown by industry-specific funding shares (education, healthcare, transportation, etc.), received special attention. When it came to reducing deviations from these objectives, the genetic algorithm performed the best; over the course of three years, the deviation was only 0.03 whereas the DP method' s was 1.57–1.58. This is explained by the fact that GA directly incorporates compliance with target shares into the evolutionary selection process, guaranteeing a balance between strategy and ROI, whereas DP just minimizes deviations within its utility function.

Therefore, GA is the best tool when putting government strategies into action rather than just aiming for maximum efficiency is the top goal.

Although DP demonstrated a notable improvement in distribution quality, it came with a high execution time, ranging from 274 to 299 seconds for a single annual calculation. In addition, GA routinely resolved the issue in 56 seconds. GA is a better option when online distribution is necessary or when computational resources are constrained because of the more than five-fold difference. In turn, DP necessitates time and powerful machinery, which are only warranted when creating long-term development scenarios.

An analysis of the final graph comparing the

utility functions and inter-district disparity confirms the above conclusions. All indicators show modest values in the gray columns that represent the real data. Its maximizing character is indicated by the continually increased blue columns (DP). But the lines that show the differences also grow quickly, particularly in 2023–2024. In terms of usefulness, the green columns (GA) are higher than the real ones, but in terms of disparity, they are much lower than DP. This enables us to claim that GA offers the best possible balance between equality and interests. While DP tries to unify the allocation between sectors in order to maximize the overall effect, GA is more responsive to priority sectors, according to a further examination of the budget distribution by areas.

When utility maximization is crucial and there are no stringent constraints on equality or strategic proportions, the dynamic programming approach is warranted. It works particularly well for theoretical modeling and long-term forecasting. The genetic algorithm works best in situations where striking a balance between population interests and strategic objectives is required. It can be used to actual management issues, particularly those where computational efficiency and decision-making speed are crucial.

The outcomes demonstrated the possibility for using optimization models and artificial intelligence to strategic budget planning activities in addition to validating the theoretical tenets. The suggested method can be applied to digital twins of regions and intelligent management systems, and it can be extended to consider other elements, such as climatic, sociological, demographic, and infrastructure.

Литература

1. Скопин М. Маслихаты: кому они нужны и чем занимаются // Orda.kz. – 2024. URL: https://orda.kz (дата обращения: 12.06.2025).

2. Министерство юстиции Республики Казахстан. Институт законодательства и правовой информации. - 2024. URL: https://adilet.zan.kz. - Дата обращения: 01.07.2025.

3. Bartocci L., Grossi G., Mauro S. G., Ebdon C. The journey of participatory budgeting: A systematic literature review and future research directions // International Review of Administrative Sciences. – 2022. -Vol.88(4). DOI 10.1177/00208523221078938.

4. Schugurensky D., Mook L. Participatory budgeting and local development: Impacts, challenges, and prospects // Local Development & Society.- 2024.- Vol.5(3).-P.433-445. DOI 10.1080/26883597.2024.2391664.

5. Gulbakyt S., Abdualiyev A. Development of a mathematical model for the distribution of financial resources//Procedia Computer Science.- 2024. - Vol.251.-P.520-525. DOI 10.1016/j.procs.2024.11.142.

6. AbdualiyevA.E., IbragimG.K, Sembina G.K., IshanovaB.E.Optimization of regional budget allocation through a non-zero-sum game model// Вестник АГА: Вестник Аграрно-Гуманитарной Академии. - 2025.- Т.2(37).- С.181-193. DOI 10.53364/24138614_2025_37_2_16.

7. Бюро национальной статистики Республики Казахстан. Агентство по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. - 2025. URL: https://stat.gov.kz/ .-Дата обращения: 04.05.2025.

8. Министерство юстиции Республики Казахстан. О региональном бюджете Алматинской области на 2021–2023 годы // Adilet.zan.kz. – 2025. – URL: https://adilet.zan.kz. - Дата обращения: 07.05.2025.

9. Baffo I., Leonardi M., D'Alberti V., Petrillo A. Optimizing public investments: A Sustainable Economic, Environmental, and Social Investment Multi-criteria Decision Model (SEESIM) // Regional Science Policy & Practice. -2024. - Vol.16(11): 10040. DOI 10.1016/j.rspp.2024.100140.

10. Ленчук Е. Б. Стратегическое планирование в России: проблемы и пути решения // Инновации.2020. - № 2(256). - С.24-28.DOI 10.26310/2071-3010.2020.256.2.003.

11. Parnell G. S., Curry R. M., Specking E., Beger A., Buchanan R., Wolters S., Richards J. P., Ables P. R. An All-Hazards return on investment (ROI) model to evaluate U.S. Army installation resilient strategies // Systems.2025. - Vol.13(2). - P.90 DOI 10.3390/systems13020090.

12. Turner H. C., Hori Y., Revill P., Rattanavipapong W., Arai K., Nonvignon J., Jit M., Teerawattananon Y. Analyses of the return on investment of public health interventions: A scoping review and recommendations for future studies // BMJ Global Health. - 2023. - Vol. 8(8). - P.1-12.DOI 10.1136/bmjgh-2023-012798.

13. Thesari S. S., Lizot M., Trojan F. Municipal public budget planning with sustainable and human development goals integrated in a multi-criteria approach // Sustainability. - 2021. - Vol.13(19):10921 DOI 10.3390/su131910921.

14. Дербенева В. В., Захарчук Е. А., Пасынков А. Ф. Развитие инициативного бюджетирования в регионах РФ (на примере Свердловской области) // Финансовый журнал. - 2020. Т.12(3). - С.60-75. DOI 10.31107/2075-1990-2020-3-60-75.

15. Rahman A., Hussain S. J., Vani M. S., Velu C. M., Rajkumar N., Rao P. S. V. S., Kanakaprabha S. Optimizing township government administration with genetic algorithms for a green and sustainable rural future // Engineering, Technology & Applied Science Research. - 2025. - Vol.15(2). - P.21895-21902. DOI 10.48084/etasr.9769.

16. Fadaki M., Ansari S., Abareshi A., Lee P. T.-W. Sequential resource allocation for humanitarian operations using approximate dynamic programming // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2025. – Vol.201: 104213 DOI 10.1016/j.tre.2025.104213.

17. Valle-Cruz D., Fernandez-Cortez V., Gil-García J. R. From e-budgeting to smart budgeting: Exploring the potential of artificial intelligence in government decision-making for resource allocation // Government Information Quarterly. -2022.-Vol.39(2): 101644 DOI 10.1016/j.giq.2021.101644.

18. Rezaee Z., Rabiee F. Improving regional budgeting: An ontology-based SDSS framework for fair resource allocation // Earth Observation and Geomatics Engineering. – 2025. – Vol.8(1).- P.77-88 DOI 10.22059/eoge.2025.388553.1165.

19. Mohamed A. G., Alqahtani F. K., Ismail E. R., Nabawy M. Synergizing GIS and genetic algorithms to enhance road management and fund allocation: A comprehensive case study approach // Scientific Reports. 2025. - Vol.15.: 4634. DOI 10.1038/s41598-025-88760-4.

20. Khalilzadeh M., Neghabi H., Ahadi R. An application of approximate dynamic programming in multi-period multi-product advertising budgeting // Journal of Industrial and Management Optimization.2023.-Vol.19(1). -P.695-722. DOI 10.3934/jimo.2021202.

References

1. Skopin M. Maslihaty: komu oni nuzhny i chem zanimajutsja // Orda.kz. – 2024. URL: https://orda.kz/podzabytye-maslihaty-komu-oni-nuzhny-ichem-zanimayutsya/ (data obrashhenija: 12.06.2025). [in Russian]

2. Ministerstvo justicii Respubliki Kazahstan. Institut zakonodatel’ stva i pravovoj informacii. - 2024. URL: https://adilet.zan.kz/kz/docs/U1300000704. - Data obrashhenija: 01.07.2025. [in Russian]

3. Bartocci L., Grossi G., Mauro S. G., Ebdon C. The journey of participatory budgeting: A systematic literature review and future research directions // International Review of Administrative Sciences. – 2022.

-Vol.88(4). DOI 10.1177/00208523221078938.

4. Schugurensky D., Mook L. Participatory budgeting and local development: Impacts, challenges, and prospects // Local Development & Society.- 2024.- Vol.5(3).-P.433-445. DOI 10.1080/26883597.2024.2391664.

5. Gulbakyt S., Abdualiyev A. Development of a mathematical model for the distribution of financial resources//Procedia Computer Science.- 2024. - Vol.251.-P.520-525. DOI 10.1016/j.procs.2024.11.142.

6. AbdualiyevA.E., IbragimG.K, Sembina G.K., IshanovaB.E.Optimization of regional budget allocation through a non-zero-sum game model// Vestnik AGA: Vestnik Agrarno-Gumanitarnoj Akademii. - 2025.- T.2(37).- S.181-193. DOI 10.53364/24138614_2025_37_2_16.

7. Bjuro nacional' noj statistiki Respubliki Kazahstan. Agentstvo po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. - 2025. URL: https://stat.gov.kz.-Data obrashhenija: 04.05.2025. [in Russian]

8. Ministerstvo justicii Respubliki Kazahstan. O regional' nom bjudzhete Almatinskoj oblasti na 2021–2023 gody // Adilet.zan.kz. – 2025. – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V20D0005841. - Data obrashhenija: 07.05.2025. [in Russian]

9. Baffo I., Leonardi M., D'Alberti V., Petrillo A. Optimizing public investments: A Sustainable Economic, Environmental, and Social Investment Multi-criteria Decision Model (SEESIM) // Regional Science Policy & Practice. -2024. - Vol.16(11): 10040. DOI 10.1016/j.rspp.2024.100140.

10. Lenchuk E. B. Strategicheskoe planirovanie v Rossii: problemy i puti reshenija // Innovacii.2020. - № 2(256). - S.24-28.DOI 10.26310/2071-3010.2020.256.2.003. [in Russian]

11. Parnell G. S., Curry R. M., Specking E., Beger A., Buchanan R., Wolters S., Richards J. P., Ables P. R. An All-Hazards return on investment (ROI) model to evaluate U.S. Army installation resilient strategies // Systems.2025. - Vol.13(2). - P.90 DOI 10.3390/systems13020090.

12. Turner H. C., Hori Y., Revill P., Rattanavipapong W., Arai K., Nonvignon J., Jit M., Teerawattananon Y. Analyses of the return on investment of public health interventions: A scoping review and recommendations for future studies // BMJ Global Health. - 2023. - Vol. 8(8). - P.1-12.DOI 10.1136/bmjgh-2023-012798.

13. Thesari S. S., Lizot M., Trojan F. Municipal public budget planning with sustainable and human development goals integrated in a multi-criteria approach // Sustainability. - 2021. - Vol.13(19):10921 DOI 10.3390/su131910921.

14. Derbeneva V. V., Zaharchuk E. A., Pasynkov A. F. Razvitie iniciativnogo bjudzhetirovanija v regionah RF (na primere Sverdlovskoj oblasti) // Finansovyj zhurnal. - 2020. T.12(3). - S.60-75. DOI 10.31107/2075-1990-2020-3-60-75. [in Russian]

15. Rahman A., Hussain S. J., Vani M. S., Velu C. M., Rajkumar N., Rao P. S. V. S., Kanakaprabha S. Optimizing township government administration with genetic algorithms for a green and sustainable rural future // Engineering, Technology & Applied Science Research. - 2025. - Vol.15(2). - P.21895-21902. DOI 10.48084/etasr.9769.

16. Fadaki M., Ansari S., Abareshi A., Lee P. T.-W. Sequential resource allocation for humanitarian operations using approximate dynamic programming // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2025. – Vol.201: 104213 DOI 10.1016/j.tre.2025.104213.

17. Valle-Cruz D., Fernandez-Cortez V., Gil-García J. R. From e-budgeting to smart budgeting: Exploring the potential of artificial intelligence in government decision-making for resource allocation // Government Information Quarterly. -2022.-Vol.39(2): 101644 DOI 10.1016/j.giq.2021.101644.

18. Rezaee Z., Rabiee F. Improving regional budgeting: An ontology-based SDSS framework for fair resource allocation // Earth Observation and Geomatics Engineering. – 2025. – Vol.8(1).- P.77-88 DOI 10.22059/eoge.2025.388553.1165.

19. Mohamed A. G., Alqahtani F. K., Ismail E. R., Nabawy M. Synergizing GIS and genetic algorithms to enhance road management and fund allocation: A comprehensive case study approach // Scientific Reports. 2025. - Vol.15.: 4634. DOI 10.1038/s41598-025-88760-4.

20. Khalilzadeh M., Neghabi H., Ahadi R. An application of approximate dynamic programming in multi-period multi-product advertising budgeting // Journal of Industrial and Management Optimization.2023.- Vol.19(1). -P.695-722. DOI 10.3934/jimo.2021202.

Information about the authors

Almaz E.A. - PhD Doctoral Student, Master of Technical Sciences, Senior Lecturer, International University of Information Technology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.abdualiyev@iitu.edu.kz;

Gulbakyt K. S. - candidate of Technical Sciences, Associate Professor, International University of Information Technology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: g.sembina@iitu.edu.kz.

Сведения об авторах

Абдуалиев А. Е.- PhD докторант, магистр технических наук, сеньор-лектор, Университет Информационных Технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: a.abdualiyev@iitu.edu.kz;

Сембина Г. К. - кандидат технических наук, ассоц.профессор, Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: g.sembina@iitu.edu.kz;

МРНТИ 28.23.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1148**

INTELLIGENT WRITING ANALYSIS SYSTEM BASED ON TOUCH TRAJECTORIES AND SPLINE FILTERING

[1]A.V. Shaporeva✉, [1]A.M. Aitymova, [1]O.L. Kopnova, [1]A.V. Petrova, [1]K.E. Iklassova, [2]A. Karymsakova, [3]L.N. Abdullah, [2]G.M. Abildinova

[1]Non-profit limited company «Manash Kozybayev North-Kazakhstan University», Petropavlovsk, Kazakhstan,
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[3]Putra University, UPM Serdang Selangor, Malaysia
✉*Corresponding author: annvolkova@mail.ru*

The article presents the development of an intelligent writing analysis system based on touch trajectories and spline filtering methods, focused on the diagnosis and development of graphomotor skills in preschoolers in digital writing learning. The relevance of the study is due to the need for early detection of difficulties in the formation of handwriting and motor coordination using objective digital tools, which is especially important when preparing children for school.

Polygonal approximation, piecewise linear functions, and Catmull-Rom spline interpolation are used as the basis for mathematical analysis of trajectories. An algorithm for processing user input is proposed, which includes the stages of normalization, smoothing, comparison with a digital standard, and error categorization. The system allows you to take into account the specifics of the tool used (finger or stylus), distinguish between types of tasks (lines, continuous and discontinuous letters), as well as analyze spatial and temporal parameters of execution.

As part of the testing, an experimental test of the effectiveness of the Dexterous Fingers application was conducted on a sample of 110 children aged 4-6 years. The results demonstrated a statistically significant improvement in graphomotor skills in the experimental group compared with the control group using paper records ($p < 0.001$). There was an increase in the proportion of children with a high level of skills, a decrease in the error rate and an increase in motivation to learn writing.

The proposed system provides teachers with a tool for automated handwriting analysis, building individual development trajectories and selecting corrective tasks, and also creates the basis for further integration of artificial intelligence technologies into the processes of digital pedagogy and monitoring of children's development.

Keywords: graphomotor skills, preschoolers, digital writing training, Catmull–Roma spline, intelligent handwriting analysis system, digital handwriting diagnostics.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ СЕНСОРЛЫҚ ТРАЕКТОРИЯ ЖӘНЕ СПЛАЙНДЫ СҮЗУ НЕГІЗІНДЕ ЖАЗУДЫ ТАЛДАУ ЖҮЙЕСІ

[1]А.В. Шапорева✉, [1]А.М. Айтымова, [1]О.Л. Копнова, [1]А.В. Петрова, [1]К.Е. Икласова, [2]А. Карымсакова, [3]Л.Н. Абдулла, [2]Г.М. Абильдинова

[1]«Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, Петропавл, Қазақстан,
[2]Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Путра университеті, Упт Серданг Селангор, Малайзия,
e-mail: annvolkova@mail.ru

Мақалада цифрлық жазуды оқыту жағдайында мектеп жасына дейінгі балаларда графомоторлық дағдыларды диагностикалауға және дамытуға бағытталған сенсорлық траекториялар мен сплайндық сүзу әдістеріне негізделген жазуды талдаудың интеллектуалды жүйесін әзірлеу ұсынылған. Зерттеудің өзектілігі объективті цифрлық құралдардың көмегімен қолжазбаны қалыптастырудағы және моторды үйлестірудегі қиындықтарды ерте анықтау қажеттілігіне байланысты, бұл әсіресе балаларды мектепте оқуға дайындауда өте маңызды.

Траекторияларды Математикалық талдаудың негізі ретінде көпбұрышты жуықтау, бөлік-сызықтық функциялар және катмулл–Ром сплайн интерполяциясы қолданылады. Қалыпқа келтіру, тегістеу, сандық эталонмен салыстыру және қателерді санаттау қадамдарын қамтитын пайдаланушы енгізуін өңдеу алгоритмі ұсынылған. Жүйе қолданылатын құралдың ерекшеліктерін (саусақ немесе қалам) ескеруге, жұмыс түрлерін (сызықтар, үзілмейтін және үзілмейтін әріптер) ажыратуға, кеңістіктік және уақыттық орындалу параметрлерін талдауға мүмкіндік береді.

Апробация аясында 4-6 жастағы 110 баланың үлгісіндегі” епті саусақтар ” қосымшасының тиімділігіне эксперименттік тексеру жүргізілді. Нәтижелер қағаз жазбаларын пайдаланған бақылау тобымен салыстырғанда эксперименттік топта графомоторлық дағдылардың статистикалық маңызды жақсарғанын көрсетті ($p < 0,001$). Дағдылары жоғары балалардың үлесінің артуы, қателіктердің азаюы және жазуды үйренуге деген ынтаның артуы тіркелді.

Ұсынылған жүйе мұғалімдерге қолжазбаны автоматтандырылған талдау, дамудың жеке траекторияларын құру және түзету тапсырмаларын таңдау құралын ұсынады, сонымен қатар жасанды интеллект технологияларын цифрлық педагогика мен балалардың дамуын бақылау процестеріне одан әрі интеграциялау үшін негіз жасайды.

Түйін сөздер: графомоторлық дағдылар, мектеп жасына дейінгі балалар, цифрлық жазуды оқыту, сплайн Кэтмулл–Рома, интеллектуалды қолжазбаны талдау жүйесі, цифрлық қолжазбаны диагностикалау.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА ПИСЬМА НА ОСНОВЕ ТРАЕКТОРИЙ КАСАНИЯ И СПЛАЙНОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

[1]А.В. Шапорева✉, [1]А.М. Айтымова, [1]О.Л. Копнова, [1]А.В. Петрова, [1]К.Е. Икласова, [2]А. Карымсакова, [3]Л.Н. Абдулла, [2]Г.М. Абильдинова

[1]НАО «Северо-Казахстанский университет им. Манаша Козыбаева», Петропавловск, Казахстан,
[2]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[3]Университет Путра, UPM Серданг Селангор, Малайзия,
e-mail: annvolkova@mail.ru

В статье представлена разработка интеллектуальной системы анализа письма на основе траекторий касания и методов сплайновой фильтрации, ориентированной на диагностику и развитие графомоторных навыков у дошкольников в условиях цифрового обучения письму. Актуальность исследования обусловлена необходимостью раннего выявления трудностей в формировании почерка и моторной координации с помощью объективных цифровых инструментов, что особенно важно при подготовке детей к обучению в школе.

В качестве основы для математического анализа траекторий использованы полигональная аппроксимация, кусочно-линейные функции и интерполяция сплайном Кэтмулл–Рома. Предложен алгоритм обработки пользовательского ввода, включающий этапы нормализации, сглаживания, сопоставления с цифровым эталоном и категоризации ошибок. Система позволяет учитывать специфику используемого инструмента (палец или стилус), различать типы заданий (линии, неразрывные и разрывные буквы), а также анализировать пространственные и временные параметры выполнения.

В рамках апробации была проведена экспериментальная проверка эффективности приложения «Ловкие пальчики» на выборке из 110 детей 4 - 6 лет. Результаты продемонстрировали статистически значимое улучшение графомоторных навыков в экспериментальной группе по сравнению с контрольной, использовавшей бумажные прописи ($p < 0,001$). Зафиксировано увеличение доли детей с высоким уровнем навыков, снижение частоты ошибок и рост мотивации к обучению письму.

Предложенная система предоставляет педагогам инструмент для автоматизированного анализа почерка, построения индивидуальных траекторий развития и подбора корректирующих заданий,

а также создает основу для дальнейшей интеграции технологий искусственного интеллекта в процессы цифровой педагогики и мониторинга развития детей.

Ключевые слова: графомоторные навыки, дошкольники, цифровое обучение письму, сплайн Кэтмулл–Рома, интеллектуальная система анализа почерка, цифровая диагностика почерка.

Introduction. Digital writing training and writing analysis on a device is a promising area combining pedagogy, neurotechnology, artificial intelligence and digital interfaces. Digitization of handwriting, digital handwriting diagnostics and the creation of digital standards of letters is one of the urgent interdisciplinary problems of modern education, medicine and criminology.

Much attention in the scientific literature is paid to assessing the development of graphormotor skills of preschoolers using digital devices. The article [1] discusses a tablet-based platform designed to quantify graphomotor skills, focused on both the speed of pen movement and the quality of graphics output. In the article [2], the author studied the development of handwriting and fine motor skills in preschoolers using digital devices and analyzed the influence of handwriting on academic success.

The article [3] discusses an experimental study that tests an innovative tactile device designed to analyze graphomotor performance and coordination of movements in real time. The article [4] discusses an original approach to the diagnosis of graphomotor disorders using an objective analysis of handwritten text on the Internet. It presents the ”Graphomotor and Handwriting Disorders Assessment Scale” (GHDRS), which allows for a detailed assessment of children’ s difficulties with writing. The article [5] discusses the assessment of graphomotor skills in preschoolers and elementary school students using graphic tablets. The article [6] presents an analysis of graphomotor skills using graphic tablets, which focuses on a tool for the preliminary diagnosis of dysgraphy.

The relevance of this study is due to the fact that the development of models, methods and algorithms for early diagnosis of graphomotor skills of preschoolers when learning to write using digital devices will help to timely select corrective tasks, which will have a positive impact on school preparation.

The purpose of the study is to substantiate and test the use of the Catmull-Rom spline for letter spelling analysis in digital writing training, as well as the developed algorithm for error analysis in writing training.

The hypothesis of the study is that the use of an electronic application containing an intelligent writing analysis system ”Dexterous Fingers” will increase the interest of preschoolers in learning to write, and the built-in intelligent writing analysis system will help educators to timely select corrective tasks for preschoolers.

Materials and methods. When digitally teaching preschoolers to write using electronic applications, the images shown in Figure 1 were obtained.

It was revealed that when doing tasks on the tablet, preschoolers make the same mistakes as when doing tasks in the registration form.

The most commonly used tools for solving problems of the accuracy of writing letters and lines of various trajectories on digital devices are [7]:

- Polygonal approximation - dividing the trajectory into segments;

- Piecewise linear model - analysis of shapes and angles in letter elements;

- Splines (for example, Catmull-Rom) - smoothing of trajectories for shape analysis;

- Speed filtering - removing noise, identifying significant phases of movement;

- Similarity metrics: DTW (dynamic Time Alignment), Hausdorff Distance, etc.

In our case, the mathematical apparatus underlying the analysis of the results of drawing a curve on a tablet screen is a polygonal chain (Piecewise linear function). The input data for constructing the trajectory is formed from a sequence of user touch points $S = \{P_0, P_1, \ldots, P_m\}$, where each point $P_j = (x_j, y_j)$ represents coordinates

on the touch screen. This sequence of points is used to form a polygonal chain (polyline) [8].

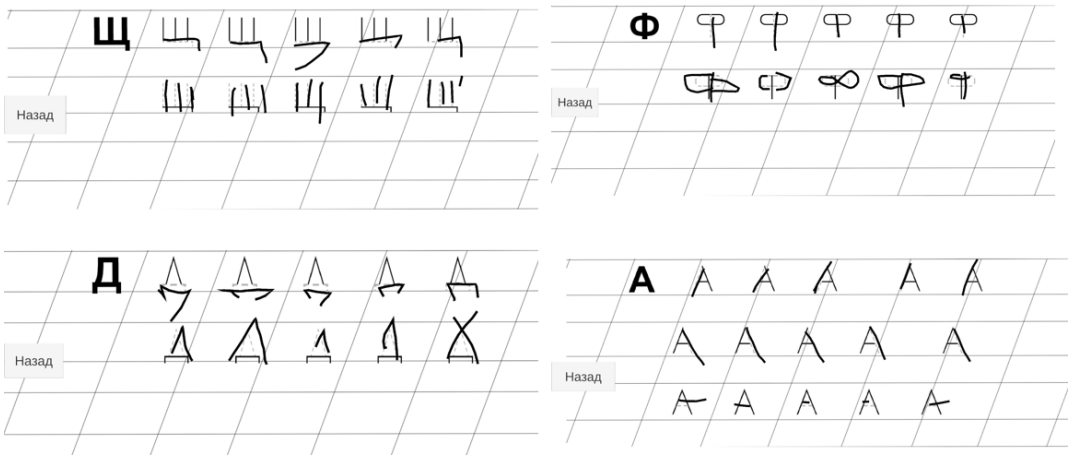


Fig.1 - Examples of completing tasks

A polygonal chain L is defined as the union of straight line segments connecting consecutive points of tangency.

$$L = U_{j=0}^{m-1} \overline{P_j P_{j+1}}. \quad (1)$$

Each segment $\overline{P_j P_{j+1}}$ is a linear function. Thus, the entire trajectory at this stage is a piecewise linear function.

To improve the visual quality and eliminate the sharp angles characteristic of a polygonal chain, smoothing based on the Catmull-Rum spline is used. The Catmull-Roma spline is a type of cubic Hermitian spline that has the property of interpolation, that is, the constructed curve passes through all specified control points.

To construct a segment of the $C_k(t)$ curve of the Catmull-Roma spline between two control points P_k and P_{k+1} (where P_k are the points of the original polygonal chain), four consecutive control points are used: P_{k-1}, P_k, P_{k+1}, P_{k+2}. The parameter t varies from 0 to 1. The segment of the curve C_k (t) for t [0,1] can be represented in the following matrix form (2):

$$C_k(t) = [t^3 t^2 t 1]\, M_{CR} \begin{bmatrix} P_{k-1} \\ P_k \\ P_{k+1} \\ P_{k+2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

where M_{CR} is the Catmull-Rum basis matrix:

$$M_{CR} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

This shape corresponds to the standard Catmull-Roma spline with a tension parameter τ=0.5, which provides a so-called ”centripetal” spline that copes well with possible self-intersections and sharp angles with uneven point distribution.

For the extreme segments of the polygonal chain (initial and final), special processing is required, for example, by duplicating the extreme points (P_{-1} = P_0 и P_{m+1} = P_m) in order to provide a sufficient number of control points for the formula [9].

Using the Catmull-Rom spline allows you to achieve continuity of the curve at the points where the segments connect (with the possible exception of the start and end points of the entire curve), which ensures a smooth transition between segments and eliminates visual kinks. This approach effectively combines the accuracy of the basic polygonal chain approximation with the aesthetics of a smooth curve without the need for additional manual correction [10].

A system of parameters reflecting the key characteristics of the writing process has been

developed for the quantitative and qualitative assessment of a child' s graphomotor skills. These parameters allow you to capture and interpret the features of the outline of the lines, providing an objective diagnosis of deviations and developmental dynamics. The analysis methods are based on mathematical representations of trajectories and consideration of time characteristics. Table 1 shows the key parameters for analyzing a letter based on sources [11-15].

To analyze the quality of material assimilation, it is advisable to use a two-way analysis of variance, the purpose of which is to assess the level of graphomotor skills relative to the group and time parameters.

The hypotheses tested within the study are:

Main effect of group: Is there a significant difference in results between the experimental and control groups (regardless of time)?

Main effect of time: Is there a significant difference in results "before" and "after" (regardless of group)?

Interaction of group and time: The improvement in results in the experimental group is significantly greater than in the control group. This hypothesis is key to proving the effectiveness of your application. If you find a significant interaction, it will be direct evidence that the use of your application led to an improvement in skills.

As a result of processing the experimental data, the following conclusions were obtained:

Significant main effect of "time" ($p<0.05$): This means that, overall, all children' s skills improved. This is an expected result, as children grow and develop.

Insignificant main effect of "group" ($p>0.05$): This may indicate that at the start of the experiment, the groups were approximately the same in terms of skill level, which is a good sign of proper randomization.

Significant interaction of "group x time" ($p<0.001$): This result is the most important. It shows that the positive change in the experimental group was statistically significantly greater than in the control group, which confirms the effectiveness of your application.

Table 1 - Key parameters for letter analysis

Parameter	Analysis method	Characteristic of the measured parameter
Curvature and angles of rotation	Polygonal chain	Frequency and sharpness of direction changes
Length and regularity of segments	Piecewise linear function	The stability of the writing pace
Smoothness and continuity	Catmull Spline-Roma	Assessment of motor coordination, detection of tremors
Writing speed	All methods (by point time)	Associated with confidence and experience
Fluctuations and jerks	Spline + velocity filtering	Indicators of motor disorders or overwork

A comparative analysis of the characteristics of various input methods makes it possible to increase the accuracy of interpretation of graphomotor data and adapt processing algorithms taking into account the specifics of the device. Special attention is paid to the differences between the stylus and the finger as the main tools for user interaction with the screen. These differences affect both

the physical and technical parameters (accuracy, sensitivity, pressure support) and the shape features, which affects the choice of filtering, smoothing, and interpretation methods. Table 2 shows the key differences between a stylus and a finger, which are taken into account in the analysis process based on sources [16-19].

Table 2 - Key differences between a stylus and a finger

Parameter	Stylus	Finger
Positioning accuracy	High (up to ~0.1mm)	Medium/Low (~2-4 mm)
Sensor frequency	Higher (60-240 Hz)	No Lower (30-60 Hz)
Pressure support	Yes (for many models)	No
The presence of tilt (tilt)	Yes (for some models)	No
Line thickness	Variable (depending on pressure)	Static or severely limited
The naturalness of writing	Closer to the paper	Less controlled, more rounded

When analyzing a curve drawn with a finger, the permissible deviations increase when compared with the reference. For a stylus, a lower error is allowed, and the accuracy requirements are higher.

To analyze the spelling of letters, it is necessary to create a digital reference letter or font.

For example, for the letter ”L” it can be three points: upper, lower center, upper right. For more complex curves, more points will be needed to adequately describe the shape. Letter standards, including their coordinate representation and metadata, should be stored in the application as JSON or XML files (Figure 2).


```
"letter": "A",
"strokes": [
  {
    "order": 1,
    "points": [ {"x": 50, "y": 10}, {"x": 20, "y": 90}, {"x"
      : 80, "y": 90} ],
    "direction_start_point_index": 0,
    "direction_end_point_index": 2
  },
  {
    "order": 2,
    "points": [ {"x": 35, "y": 50}, {"x": 65, "y": 50} ],
    "direction_start_point_index": 0,
    "direction_end_point_index": 1
  }
],
"total_strokes": 2
```


Fig.2 - An example of a letter structure in JSON

For an objective assessment of graphomotor skills, the algorithm for error analysis in writing training presented in Figure 3 provides a comprehensive error analysis when the user performs graphomotor tasks in the Dexterous Fingers electronic application. The process begins with receiving input data and ends with the formation of an assessment and feedback.

A: The beginning. This block represents the entry point to the error analysis algorithm.

B: Data from the user (points, events). At this

stage, the system receives primary data about user actions. This data includes a sequence of coordinate points (x, y) recorded when touching the touchscreen, timestamps for each point, and the type of accompanying event (for example, the beginning of the touch is ACTION_DOWN, movement is ACTION_MOVE, and the end of the touch is ACTION_UP). This information forms the ”raw” trail left by the user.

C: A reference for standard assignments/letters. In parallel with user input, the system accesses its database to download a reference representation of the current task. The standard is a digital model of perfect execution. It can be a trajectory for a simple graphic element (”Track”), the shape of an unbroken letter, or a set of strokes indicating their characteristics (shape, order, direction) for discontinuous letters. Benchmarks are usually stored in a structured format (for example, JSON) and contain all the necessary information for comparison.

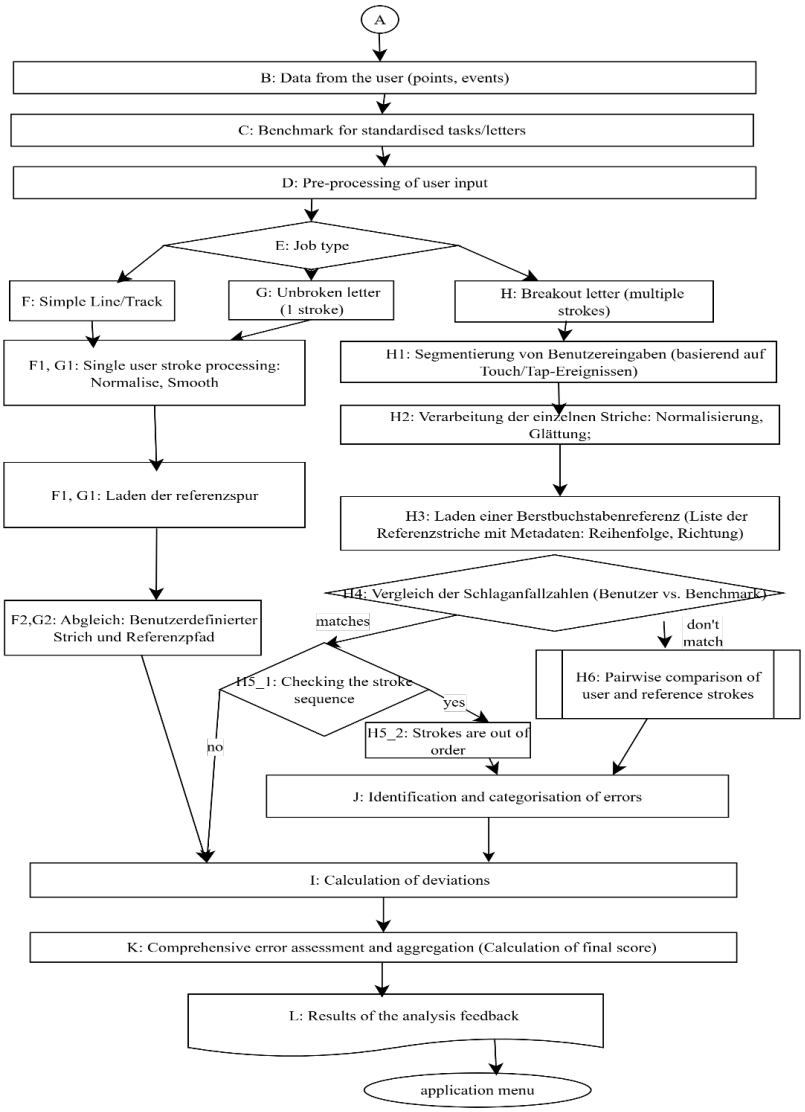


Fig.3 - Error analysis algorithm for learning writing

D: Preprocessing user input.

Before the main analysis, the user’ s ”raw” data goes through a preprocessing stage. This may include:

– determining the type of input tool (stylus or finger, which may affect the thresholds for analysis),

– filtering noise (for example, removing points that are too close due to shaking),

– preparing data for further segmentation and analysis.

E: The type of task. This is a key decision-making node, where the algorithm determines the nature of the current task in order to choose the appropriate analysis path. There are three main types of tasks:

F: A simple line/Track (for example, tracing straight, wavy lines).

G: An unbroken letter (1 stroke) (letters that are written in one continuous motion).

H: A discontinuous letter (several strokes) (letters consisting of two or more separate elements/strokes).

Processing for paths F (Simple Line/Track) and G (Continuous Letter): Since both of these types of tasks usually involve a single continuous stroke on the user' s part, their initial processing is similar:

F1, G1 (Step 1): Processing a single user stroke: Normalization, Smoothing. The custom stroke is first normalized – its size and position are adjusted to the standard form so that the comparison with the reference is invariant to the scale and place of writing. Then the normalized stroke is smoothed, for example, using the Catmull-Rum spline, to eliminate small vibrations and obtain a clearer representation of the intended trajectory.

F1, G1 (Step 2): Loading the reference path. The corresponding reference for a given line or continuous letter is extracted.

F2, G2: Matching a custom stroke with a reference path. The processed custom stroke is directly compared with the reference path. The results of this comparison (data on similarities and differences) are transferred to the general deviation calculation unit (I).

Processing for the path H (Discontinuous letter):

This path is designed to analyze letters consisting of several separate strokes, and involves more complex logic.:

H1: Segmentation of user input into strokes. All user input for a given letter is divided into separate strokes. Stroke boundaries are used for events when the tool is lifted off the screen (ACTION_UP) and then touched again (ACTION_DOWN).

H2: Processing each user stroke: Normalization, Smoothing. Each identified custom stroke undergoes an individual normalization and smoothing procedure, similar to that described in F1, G1 (Step 1).

H3: Loading the broken letter reference. A reference is loaded, which for such letters is a list of individual reference strokes, including metadata about their correct execution order and, possibly, direction.

H4: Comparing the number of strokes (user and reference).

If the number of strokes drawn by the user does not match the reference one, the algorithm proceeds according to the scheme to Block H6: Step-by-step comparison of the user' s strokes and the reference one. This implies an attempt to perform an analysis based on the available data, perhaps to identify missing or superfluous strokes, or for the best possible comparison. The results of such a comparison are then sent to the error identification unit (J).

If the number of strokes matches, the check continues in Block H5_1: Checking the sequence of strokes. It analyzes whether the time order of custom strokes corresponds to the prescribed order in the reference.

If the sequence is correct (”yes”), then the analysis process proceeds to Block I: Calculation of deviations, where a detailed comparison of each pair of matched strokes (user and reference) will be carried out.

If the sequence is broken (”no”), this is recorded as an error in Block H5_2: The stroke order is broken, and information about this error is transmitted directly to Block J: Error identification and categorization.

General stages of analysis (Blocks I, J, K, L):

After the custom strokes (or stroke) are compared

with the reference ones (for paths F, G, or a successful branch H), or if the analysis has moved on to processing structural errors (from H4/H6, H5_2), the following general steps are performed:

I: Calculation of deviations. This block quantifies the differences between the actual spelling and the reference for the compared strokes. Metrics are calculated, such as: the average and maximum distance from the points of the user curve to the reference line, the difference in angles between segments, deviations in the starting/ending points of strokes, as well as possibly more complex metrics of curve similarity (for example, the Frechet distance). For multi-stroke letters, the relative position and proportions of strokes can also be analyzed here.

J: Identification and categorization of errors. Based on the calculated deviations (from block I) and information about structural errors (for example, an incorrect number of strokes from H4/H6 or a violation of the order from H5_2), the algorithm identifies and classifies specific types of errors. Examples of categories: significant distortion of the shape, going beyond the contour, incorrect direction of movement, incorrect number or order of elements, violation of proportions.

K: Comprehensive assessment and aggregation of errors (Calculation of ErrorCount / Final Score). All identified errors and their severity are aggregated into a single comprehensive assessment. This can be a numerical indicator, such as ErrorCount (the total number of errors, as in the user' s CSV file), or the percentage of accuracy (for example, calculated using the formula P = (1 - E/n) × 100%), or a more detailed error profile. At this stage, weights can be applied for different types of errors depending on their criticality.L: Analysis results / Feedback. The final assessment and information about specific errors (possibly with recommendations for their correction) are generated to provide feedback to the user directly in the application, as well as for saving and subsequent use in reports for parents and teachers.

Based on the types and number of errors, the application can give the user specific hints (for example, ”Start this line a little higher”, ”Lead the line more smoothly”, ”You missed one element”).

Results and discussion. The results of a randomized controlled trial of 110 children aged 4-6 years in kindergartens in Petropavlovsk and the North Kazakhstan region were used as an empirical basis to confirm the effectiveness of an electronic application containing an intelligent writing analysis system ”Dexterous Fingers”. The children were randomly divided into two groups: an experimental group (using the app) and a control group (performing tasks on paper). The level of graphomotor skills development in 4-6-year-olds before the introduction of the Dexterous Fingers electronic application is shown in Table 3.

Table 3 - The level of graphomotor skills development in children aged 4-6 years (before the introduction of the Dexterous Fingers electronic application)

Groups	Level		
	high	medium	low
experimental (54 children)	8 (14%)	23 (43%)	23 (43%)
control (56 children)	8 (14%)	21 (38%)	27 (48%)

For classes on the development of writing and graphomotor skills in the experimental group, an electronic application containing an intelligent writing analysis system ”Dexterous Fingers” was used. At the end of each lesson, the teacher in the experimental group generated an Excel report file on the quality of tasks performed by preschoolers. An example of the report is shown in Figure 4. The report shows how many children from the group completed the task correctly and how many children made mistakes. When you click on the ”NAME” link, the teacher receives a list of children.

	A	B	C	D	E	F
1	Task	Writing a letter		"А"		
2						
3	You did it right			7		Name
4						
5	Made mistakes			21		Name
6						
7	Failed to comply			0		Name
8						
9	Total			28		
10						

Fig.4 - Task completion report for the tutor

	A	B	C	D
1	Letter	"А"		
2				
3	Done	80	%	Mistakes
4				
5	Letter	"Б"		
6				
7	Done	100	%	Mistakes
8				
9	Letter	"Г"		
10				
11	Done	100	%	Mistakes
12				
13	Letter	"Д"		
14				
15	Done	30	%	Mistakes

Fig.5 - Individual report on the progress of writing letters

A file is also generated for each child in accordance with Figure 5, which records the progress of writing letters in percentage terms. The percentage of completion is calculated according to the error analysis algorithm. A database of mistakes is formed for each letter, so that in the future the teacher can select corrective tasks.

During the prescribed period, the children systematically completed tasks aimed at developing graphomotor skills, taking into account the recommendations of the Dexterous Fingers electronic application. The results of the survey are presented in Table 4 and Figure 6.

Table 4 shows that the experimental group is characterized by better development of graphic skills: the majority of children are at intermediate and high levels (79%), while in the control group almost half of the children have a low level (45%).

Table 4 - The level of graphomotor skills development in 4-6-year-olds (after the introduction of the Dexterous Fingers electronic application)

Groups	Level		
	high	medium	low
experimental (54 children)	25 (46%)	18 (33%)	11 (21%)
control (56 children)	10 (18%)	21 (37%)	25 (45%)

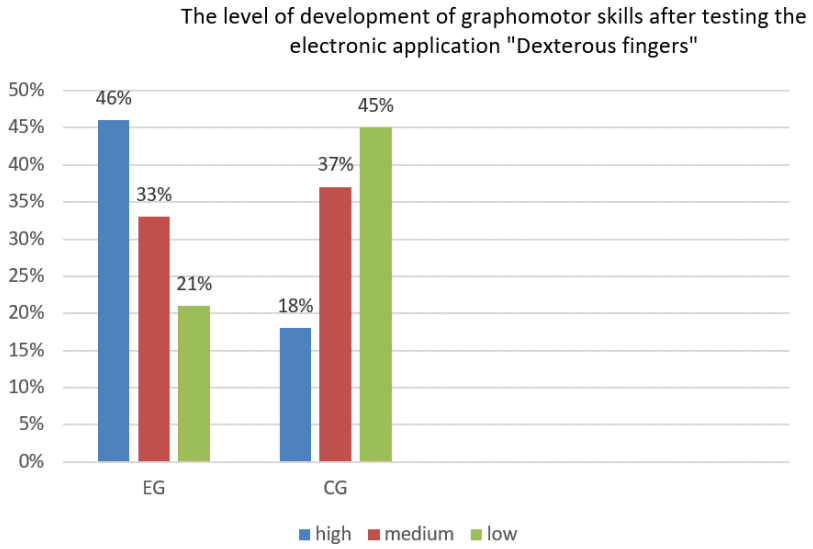


Fig.6 - The level of development of graphomotor skills in children aged 4-6 years after testing the electronic application ”Dexterous fingers”

Statistical analysis showed no differences between the groups at the entrance and a significant improvement in the results in the experimental group after using the application, especially in the age subgroups of 4-5 and 5-6 years ($p < 0.001$). Improved accuracy, smoothness and coordination of movements were recorded. Qualitative observations by teachers confirmed the high level of motivation and involvement of children in working with the digital tool.

Conclusions. The conducted research has confirmed the effectiveness of the use of intelligent systems in digital writing teaching among preschoolers. The developed system for analyzing writing trajectories based on polygonal approximation, piecewise linear models and the Catmull-Rom spline provides accurate and visual diagnostics of graphomotor skills. Unlike traditional approaches, the proposed algorithm allows taking into account the individual characteristics of the tasks, automatically identifying typical errors and forming feedback for both the child and the teacher.

The results of the approbation conducted in preschool institutions of the North Kazakhstan region showed a statistically significant improvement in graphomotor skills in children using the Dexterous Fingers electronic application. Improving the accuracy of movements, improving coordination, reducing the number of typical errors and increasing motivation to learn to write indicate the high practical importance of the developed system.

The introduction of such a digital tool into educational practice allows not only to personalize learning, but also lays the foundation for the

formation of a flexible digital environment for diagnosis and correction. In the future, it is possible to integrate this system with adaptive learning platforms, develop automated classification of writing disorders, and expand functionality through neural network data analysis methods.

Based on the analysis, this study successfully demonstrates the effectiveness of the ”Dexterous Fingers” intelligent system in developing graphomotor skills in preschoolers. A two-way analysis of variance confirmed that the application’ s use resulted in a statistically significant improvement in children’ s skills. While a general improvement in skills was observed over time in all participants, the most crucial finding was the highly significant interaction between group and time. This result confirms that the positive change in the experimental group was substantially greater than in the control group, establishing the application as the primary driver of the observed progress. Based on these findings, we recommend integrating the system into early childhood educational programs as an objective and effective tool for diagnosis and correction, with a view to exploring the potential of neural networks in future research to further enhance its diagnostic accuracy and adaptability.

Thus, the system of intellectual analysis of writing presented in the work can be used as an effective diagnostic and developmental tool in the practice of preschool education and primary education.

Funding: *This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant Number: AP19679894 “Development of graphomotor skills in children aged 4-6 years through the electronic application ”Dexterous Fingers”, scientific supervisor A.E. Karymsakova.).*

Note: *During the preparation of the article, artificial intelligence tools were used, including the GPT-4 language model provided by OpenAI. The model was used exclusively to assist in text editing and structuring scientific presentation [20].*

References

1. Rane D., Verma P.,Lahiri, U. (2022). How Good is your Drawing? Quantifying Graphomotor Skill Using a Portable Platform, HCI International 2022 - Lecture Notes in Computer Science, 2022, p.409–422. DOI 10.1007/978-3-031-22131-6_31

2. Dinehart L.H. Handwriting in early childhood education: Current research and future implications//Journal of Early Childhood Literacy.-2014.-Vol.15(1).-P.97-118. DOI 10.1177/1468798414522825

3. Ceccacci S., Taddei A., Del Bianco N., Giaconi C., Forteza Forteza D., Moreno-Tallón F. Preventing Dysgraphia: Early Observation Protocols and a Technological Framework for Monitoring and Enhancing Graphomotor Skills//Information.-2024.-Vol.15(12):781. DOI 10.3390/info15120781

4. Kedar, Et. (2021). Identifying Learning Disability Through Digital Handwriting Analysis// Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT).-2021.-Vol.12(1S). – P.46-56. DOI 10.17762/turcomat.v12i1S.1557

5. Kopnova O. L., Aytymova A. M., Abildinova G., Safaraliev B. S., Koleva N. S.,Panova M. Assessment of the level of formation of graphomotor skills of preschool and primary school students using graphic tablets//Sovremennye Naukoëmkie Tehnologii.-2024.-Vol.1(5).- P.154 - 159. DOI 10.17513/snt.40021

6. Devillaine, L., Lambert, R., Boutet, J., Aloui, S., Brault, V., Jolly, C., & Labyt, E. (2021). Analysis of Graphomotor Tests with Machine Learning Algorithms for an Early and Universal Pre-Diagnosis of Dysgraphia// Sensors.-2021. - Vol.21(21): 7026. DOI 10.3390/S21217026

7. AlKendi W., Gechter F., Heyberger L.,Guyeux,C. Advancements and Challenges in Handwritten Text Recognition: A Comprehensive Survey// Journal of Imaging.- 2024.-Vol.10(1):18. DOI

10.3390/jimaging10010018

8. Tayebi Arasteh S., Kalisz, A. Conversion Between Cubic Bezier Curves and Catmull–Rom Splines// SN COMPUT. SCI. – 2021.-Vol.2:398. DOI 10.1007/s42979-021-00770-x

9. Li J., Chen S. The Cubic α-Catmull-Rom Spline//Mathematical and Computational Applications.-2016.-Vol.21(3): 33. DOI 10.3390/mca21030033

10. Wu T., Ba, B., Wang P. Parallel Catmull-Rom Spline Interpolation Algorithm for Image Zooming Based on CUDA//Applied Mathematics & Information Sciences.-2013.-Vol.7(2).-P.533-537.

11. Tony D. DeRose and Brian A. Barsky. Geometric continuity, shape parameters, and geometric constructions for Catmull-Rom splines//ACM Trans. Graph.-1988,-Vol.7(1).- 1–41. DOI 10.1145/42188.42265

12. C. Kong A. Luo S. Wang H. Li, A. Rocha, A. C.Kot. Pixel-inconsistency modeling for image manipulation localization// Journal of Latex Class Files.-2024.-Vol.14(8).- P.1-17. https://arxiv.org/abs/2310.00234

13. C. Yu, X. Zhang, Y. Duan, S. Yan, Z. Wang, Y. Xiang, S. Ji, and W. Chen. Diff-id: An explainable identity difference quantification framework for deepfake detection.//IEEE Trans. Dependable Secure Comput.-2024.- Vol.21.-P.5029-5045 DOI 10.1109/TDSC.2024.3364679

14. Lyu S., Pan X. & Zhan, X. Exposing Region Splicing Forgeries with Blind Local Noise Estimation// Int J Comput Vis.-2014.-Vol.110(2).- P. 202–221 DOI 10.1007/s11263-013-0688-y

15. Steve Marschner .Cornell CS4620 Fall 2020. CS 4620 Lecture 14. Date of address: 16.02.2025

16. Li Q., Gong R., Hase K. A Comprehensive Objective Evaluation Method for Handwriting Assistive Devices Using a Tablet and Digital Pen for Individuals with Upper Limb Dysfunction//*Applied Sciences*.-2024.-Vol.14(23):11190. DOI 10.3390/app142311190

17. Begum N., Akash M. A. H., Rahman S., Shin J., Islam M. R., & Islam,M. E. User Authentication Based on Handwriting Analysis of Pen-Tablet Sensor Data Using Optimal Feature Selection Model//Future Internet.-2021.-Vol.13(9):231. DOI 10.3390/fi13090231

18. Rahim, M.A., Farid, F.A., Miah, A.S.M., Puza, A.K., Alam, M.N. et al. An Enhanced Hybrid Model Based on CNN and BiLSTM for Identifying Individuals via Handwriting Analysis//Compute*r* Modeling in Engineering & Sciences.-2024.-Vol.140(2).- P.1689-1710. DOI 10.32604/cmes.2024.048714

19. Mekyska J. et al. Assessment of Developmental Dysgraphia Utilising a Display Tablet. In: Parziale, A., Diaz, M., Melo, F. (eds) Graphonomics in Human Body Movement. Bridging Research and Practice from Motor Control to Handwriting Analysis and Recognition. IGS 2023. Lecture Notes in Computer Science.-2023. DOI 10.1007/978-3-031-45461-5_2

20. OpenAI. ChatGPT (GPT-4) Language Model.- OpenAI.- 2023. -URL: Date of accessed: 16.02.2025

Information about authors

Shaporeva A.V.- PhD, Associate Professor, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan, e-mail: annvolkova@mail.ru;

Aitymova A.M.- PhD, Senior Lecturer, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan, e-mail: amakasheva@ku.edu.kz;

Kopnova O. L.- PhD, Senior Lecturer, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan, e-mail: okopnova@ku.edu.kz;

Petrova A.V.- master, Senior Lecturer, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan, e-mail: silanya@mail.ru

Karymsakova A.- Candidate of Pedagogical Sciences, Acting Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National

University, Astana, Kazakhstan, e-mail: hatae@mail.ru;

Abildinova G. M.- PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University Astana, Kazakhstan, e-mail: gulmira_2181@mail.ru;

Abdullah L.N.-Associate Professor, Putra University, Serdang Selangor, Malaysia, e-mail: liyana@upm.edu.my;

Iklassova K.E.- PhD, Associate Professor, M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan, e-mail: kiklasova@mail.ru.

Сведения об авторах

Шапорева А.В.-PhD, доцент, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан, e-mail: annvolkova@mail.ru;

Айтымова А.М.- PhD, старший преподаватель, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан, e-mail: amakasheva@ku.edu.kz;

Копнова О.Л.-PhD, старший преподаватель, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан; e-mail: okopnova@ku.edu.kz;

Петрова А.В.-магистр, старший преподаватель, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан; e-mail: silanya@mail.ru

Карымсакова А.- к.п.н., и.о. доцента, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: hatae@mail.ru;

Абильдинова Г.М.- к.п.н., ассоциированный профессор (доцент), Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: gulmira_2181@mail.ru;

Абдулла Л.Н.-ассоциированный профессор,Университет Путра, Серданг Селангор, Малайзия, e-mail: liyana@upm.edu.my;

Икласова К.Е.- PhD, доцент, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан; e-mail: kiklasova@mail.ru.

ҒТАМР 50.43.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1018**

КӨЛІК ҚҰРАЛДАРЫН ОРНАЛАСТЫРУ ҮШІН ЛОГИКАЛЫҚ МАГНИТТІК ДАТЧИКТЕРДІ ПАЙДАЛАНУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

[1]Б.А. Бельгибаев, [2]Д.С. Жамангарин, [3]Е.Қ. Майлыбаев, [4]А.Д. Тулегулов,

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Казахстан,
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан,
[4]К. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан
Корреспондент-автор: tad62@ya.ru

Ақылды қала тұжырымдамасында қарастырылған бағыттардың бірі - бағдаршамды басқару. Қалалық жерлерде халық санының және автомобильдер санының өсуі, жанармайдан кейін пайда болған газдар шығарындыларын азайту, уақыт қажеттілігі болып отыр, нақтырақ айтқанда, өмір сүру сапасын арттыру үшін жол қозғалысын басқаруды талап етеді. Қала жолдарындағы көліктердің кептелісі көптеген зерттеулерді алаңдатты. Ғалымдар әртүрлі типтегі датчиктер немесе құрылғылар негізінде зерттеулер ұсынды. Бұл мақалада металл көліктермен жердің магнит өрісінің тартылыс күшін өлшеуге негізделген анықтаудың салыстырмалы түрде жаңа әдісін қолдану әрекеті келтірілген. Зерттеудің мақсаты өте төмен қуат тұтынуы және сымсыз радиожиілік байланысы арқылы деректерді беру диапазоны бар магниттік сенсор негізінде көлікті анықтау модулінің прототипін жобалау, өндіру және сынау болды. Мақсатқа жету үшін прототип қуатты өте төмен микроконтроллер негізінде lora және жаңа long range технологиясы негізінде жасалған. Сынақтар көлік құралын анықтаудың ең жақсы дәлдігін және ең аз қуат тұтынуды қамтамасыз ету үшін тиісті алгоритмді табуға бағытталған.

Түйін сөздер: ақпараттық технологиялар, алгоритм, трафикті басқару, блок-схема, Көлік құралдарын анықтау, магниттік сенсор.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

[1]Б.А. Бельгибаев, [2]Д.С. Жамангарин, [3]Е.Қ. Майлыбаев, [4]А.Д. Тулегулов,

[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2]Евразийский национальный университет имени Л. Гумилева, Астана, Казахстан,
[3]Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан,
[4]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mai: tad62@ya.ru

Одним из направлений, рассмотренных в концепции умного города, является управление светофорами. Рост населения и количества автомобилей в городских районах, сокращение выбросов газов, образующихся после сжигания топлива, становится необходимостью во времени и, в частности, требует управления дорожным движением для повышения качества жизни. Пробки на дорогах города вызвали беспокойство у многих исследователей. Ученые предложили исследования на основе различных типов датчиков или устройств. В этой статье представлена попытка использовать относительно новый метод определения местонахождения транспортного средства, основанный на измерении силы тяжести магнитного поля Земли с помощью металлических транспортных средств. Целью исследования было проектирование, производство и тестирование прототипа транспортного модуля обнаружения местонахождения транспортного средства на основе магнитного датчика с очень низким энергопотреблением и диапазоном передачи данных через беспроводную радиочастотную связь. Для достижения цели прототип был разработан на основе микроконтроллера с очень низким энергопотреблением lora и новой технологии long range. Тесты направлены на поиск

подходящего алгоритма для обеспечения наилучшей точности обнаружения транспортного средства и минимального энергопотребления.

Ключевые слова: информационные технологии, алгоритм, управление дорожным движением, блок-схема, обнаружение транспортных средств, магнитный датчик.

FEATURES OF USING LOGICAL MAGNETIC SENSORS FOR VEHICLE POSITIONING

[1]B.A. Belgibaev, [2]D.S. Zhamangarin, [3]E.K. Mailybaev, [4]A.D. Tulegulov✉,

[1]al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[2]L. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[3]International Transport and Humanitarian University, Almaty, Kazakhstan,
[4]K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
e-mai: tad62@ya.ru

One of the areas considered in the concept of a smart city is traffic light control. In urban areas, the growth of the population and the number of cars, the reduction of gas emissions generated after fuel, is becoming a necessity of time, specifically, requiring traffic management to improve the quality of life. Traffic jams on city roads have worried many studies. Scientists have proposed studies based on sensors or devices of various types. This article presents an attempt to apply a relatively new method of determination based on measuring the gravitational force of the Earth' s magnetic field with metal vehicles. The purpose of the study was to design, manufacture and test a prototype vehicle detection module based on a magnetic sensor with extremely low power consumption and data transmission range via wireless radio frequency communication.

To achieve the goal, the prototype was built on the basis of a powerful ultra-low microcontroller lora and the new long range technology. The tests are aimed at finding the appropriate algorithm to ensure the best vehicle detection accuracy and minimum power consumption.

Key words: information technology, algorithm, traffic management, flowchart, vehicle detection, magnetic sensor.

Кіріспе. Магниттік датчиктерді қолданатын жол қиылысындағы бағдаршамды бақылау жүйесі - бұл біздің әзірлеген ғылыми жұмыс нәтижесі қолданбалы зерттеу болып табылады. Зерттеу автомобильдерді анықтау жүйелерінің қазіргі уақыт жағдайында талдаудайды [1],[2]. Датчиктердің (ультрадыбыстық, инфрақызыл, пьезоэлектрлік, пассивті акустикалық массив, a.s.o.) немесе құрылғылардың (микротолқынды радар, бейне кескін процессоры, индукциялық цикл) әртүрлі типтері негізінде анықтаудың бірнеше әдістері әзірленді [3]. Ғылыми тұрғыдан қабылданғандай, Жердің магнит өрісі оның ядросының өткізгіш материалындағы электр тогының әсерінен пайда болады; магнит өрісі Жердің ішкі бөлігінен ғарышқа дейін созылады. Оның Жер бетіндегі магнитудасы орналасуына байланысты 20 мкт-тан 80 мкт-қа дейін ауытқиды. Жердің магнит өрісі үш өлшемді вектормен бейнелеуі мүмкін, бірақ жалпы көрініс X (Солтүстік), Y (Шығыс) және Z (Төмен) координаттарында болады. Жердің магнит өрісін сезу және өлшеу магнитометр деп аталатын құралдың көмегімен жүзеге асырылады. Техникалық прогресс интегралды микросхемалар пакетіне орналастыруға болатын миниатюралық магнитометрлерді жасауға мүмкіндік берді. Бағдаршамды бақылау кезінде магнит өрісі датчиктерінің басты артықшылығы олардың қозғалыс кернеуімен уақытылы сигнал беруі болып табылады. Кемшіліктері: интрузивті технология, тоқтап қалған көліктерді анықтай алмауы. Магниттік сенсордан алынған мәліметтер бақылау орталығына шлюзі бар радиобайланыс арқылы жіберіледі.

Басқа датчиктерден артықшылығын анықтау үшін жобалау алдында кейбір аспектілерді ескеру қажет:

- дәлдік: көлік құралдарын анықтау индуктивті сигналға негізделген қолданыстағы шешім-

дермен салыстырғанда өте дәл болуы керек; бұл шешілуі керек мәселелер: жүк көліктері немесе тіркемелер сияқты ұзын көліктерді екі рет анықтау, іргелес жолақтардан көліктерді анықтау;

- сымсыз байланыс: сымды байланыс қымбатқа түседі, ол жолдың астына кабель төсеу қажет етеді және көше жұмыстары кезінде сымның үзілу қаупі бар;

- қуатты аз тұтыну: электрондық модульдің қуат көзі бірнеше уақытқа созылуы керек;

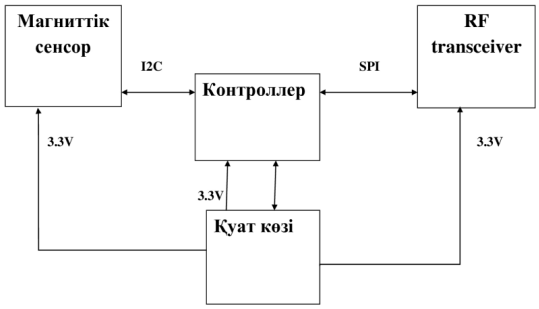
- төзімділік: электрондық модуль жолдың астына көміліп, 10-15 см тереңдікте жұмыс істеуі керек және ауыр жүк көліктерінің өтуіне немесе тіпті орналасуына қолдау көрсете алуы керек;

- жұмыс температурасының кең диапазоны: электронды модуль қатаң ауа райында дұрыс жұмыс істеуі керек; қыста температура -30°C-тан төмен түсуі мүмкін, ал жаз күндері жол бетіндегі температура 70°C-тан асуы мүмкін. Термиялық кернеуге, механикалық кернеуге, ылғалдылыққа, химиялық агенттерге, тұншығуға байланысты жұмыс жағдайлары қатал орта ретінде қарастырылуы мүмкін; асфальт жолда жарықтар судың, мұздың, тұздың және аязға, майға және басқа заттарға қарсы қолданылатын химиялық заттардың сенсор төзімді болу керек;

- экологиялық таза: өнім көшеде, іс жүзінде жерге орнатылғандықтан, ол қоршаған Ортаны қорғауға қатысты Барлық Еуропалық директивалар мен ережелерге сәйкес келуі керек;

- экономикалық тиімділік: қалада көптеген қиылыстар бар, сондықтан сенсорлардың санын барынша азайту керек; электрондық модульдің құны сапа / баға арақатынасы арасындағы байланысты болуы керек, өйткені кеңейтілген температура диапазонында сертификатталған компоненттер өнеркәсіптік, -40°C ...85°C коммерциялық (0°c ...70°C) қарағанда қымбатырақ.

Материалдар мен әдістер. Магниттік сенсорды қолдана отырып, бағдаршамды бақылау жүйесінің негізгі бөлігі - бұл автомобильдерді анықтау сенсоры, байланыс блогы, контроллер және қуат көзі болады.(сур.1)



1 - сурет. Электрондық модульдің блок-схемасы

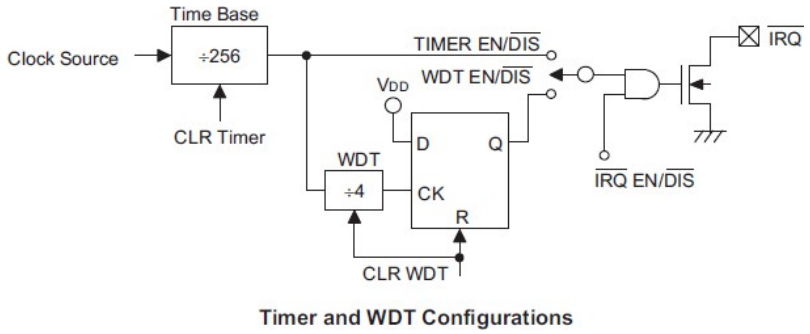
Компоненттерді таңдаудың негізгі критерийі ең аз қуат тұтыну болды.

Осылайша, электронды модульдің прототипі atmel/ Microchip ұсынған ATmega328P микроконтроллерінің айналасында жасалған, AVR архитектурасына негізделген 8 биттік mega AVR құрылғысы болады. Ультра төмен қуат тұтынуды және төмен қуатты ұйқы режимдерін ұсынатын picoPower технологиясы қолданылады[4],[5]. Белсенді режимде, 1 мгц, 1,8 В, 25°C температурада микроконтроллерге 0,2 ма қажет, ал қуатты үнемдеу режимінде ол 0,75 мка пайдаланады, оның ішінде 32 кгц нақты уақыт сағаты (RTC).

Магниттік сенсор - бұл 3 осьті сандық магнитометр, MAG3110 Freescale-ден [6]. Интегралды схема (IC) магнит өрістерін шығыс жылдамдығы (ODR) 80 Гц-ке дейін өлшеуге қабілетті; бұл шығыс жылдамдығы 12 мс-ден бірнеше секундқа дейінгі үлгі аралықтарына сәйкес келеді. Бұл жағдайда белсенді режимдегі максималды қоректендіру тогы 900μа құрайды. Тіз-

бекте өлшеу координаталары жүйесі болғандықтан толық масштаб диапазоны әдетте ±1000 мкт құрайды. Схемада өлшеу координаталары жүйесі болғандықтан IC осьтерінің жол осіне қатысты орындалады. Сондықтан модульдің қаптамасында X оң бағыты жазылады.

Таңдалған байланыс стандарты long range, low power technology (LoRa) болды. Белгілі болғандай, LoRa-бұл машинадан машинаға (M2M) және заттар интернетіне (IoT) арналған сенсорлар мен жетектер арқылы ұзақ қашықтыққа төмен деректер жылдамдығымен байланыс орнатуға мүмкіндік беретін сымсыз технология. Таңдалған схема HOPERF Electronic RFM96W болды, loratm spread spectrum модемі кіреді, ол қолданыстағы жүйелерге қарағанда едәуір ұзақ диапазонға қол жеткізуге қабілетті. Жиілікті ауыстыру пернесі (FSK) немесе Қосу-Өшіру пернесі (O) модуляциясы. Ол радио спектрінің өндірістік, ғылыми және медициналық (ISM) диапазондарынан 433 Мгц жиілік диапазонында жұмыс істейді. Бұл басқа бәсекелестерге қарағанда аз қуат тұтынады және арзанырақ (сур.2).



2 - сурет. HOPERF Electronic RFM96W магнитометрінің өлшеу координаталар жүйесі

1 кесте - Негізгі тізбектердің қуат тұтынуы, ICC [μA]

Тізбек	Жұмыс режимі		
	Белсенді (Rx/Tx режимі)	Қуатты үнемдеу/Күту режимі	Қуатты өшіру
ATmega328P, Atmel	200	0,75	0,1
MSP430F2274, Texas Instruments	270	2	
MAG3110, Freescale	550 (@ODR 40Hz)	2	
HMC5883L, Honeywell	100	2	
RFM96W, Hoperf Electronic	12100	1800	1
RN2483, Microchip Technology	14200/22800	2800	1,8

1-кестеде салыстыру үшін таңдалған тізбектердің және кейбір эквивалентті тізбектердің қуат тұтынуы келтірілген.

Қуат көзі келесі сипаттамалары бар литий тионилхлоридті аккумулятор болып табылады: номиналды кернеу: 3,6 В, номиналды ток: 4ма; номиналды сыйымдылығы: 19Ah, максималды үздіксіз разряд тогы: 340ма, импульстік ток мүмкіндігі: 600ма, температура диапазоны: -55°C ...85°C.

Жақсы механикалық қасиеттерді қамтамасыз ету үшін электронды модуль эпоксидті шайырға батырылды (сур.3).



3 - сурет. Электрондық модуль эпоксидті шайырға батырылған

Оны үлкен батареяны байқауға болады. Герметикалық жабылғанға дейін магниттік сенсор блогына қол жеткізуге болады

Эксперименттің дизайны

Эксперименттердің мақсаттары:

а) MAG3110 сандық магнитометрі негізінде металл бөлшектерін анықтау тұжырымдамасын дәлелдеу;

б) әр түрлі автомобильді қағидаларын анықтау;

в) автомобильді санаудың ең жақсы дәлдігін алудың тиісті алгоритмін табу.

г) қуат тұтынуды азайту үшін тиісті шешім табу.

Сынақтар зертханада эксперименттік үлгіде және ашық ауада индуктивті рычаг орнатылған қиылыста жол астына көмілген құрылғының капсулаланған прототипінде жүргізілді. Уақытша тікелей санауды адам бақылаушысы үшінші тарапқа сілтеме жасау үшін жүргізді. Екі жүйенің деректері бағдаршамды бақылау орталығында (ТМС) жиналды және өңделді.

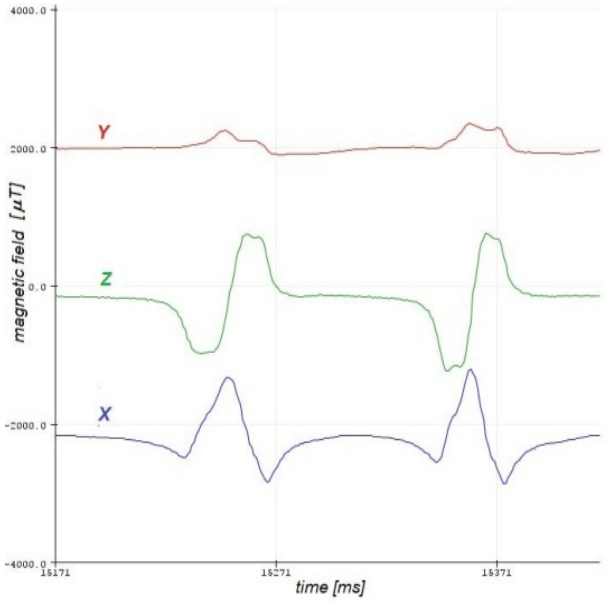
А. *Зертханалық зерттеулер*

Магниттік сенсоры бар электронды модуль үстелге қойылып, FTDI USB интерфейсі арқылы дербес компьютерге (ДК) өзара байланысты болды. Датчиктің үстінен металл зат өткен кезде алынған мәліметтер компьютерде Arduino 1.6.12 сериялық плоттер бағдарламалық жасақтамасының көмегімен салынған. Сенсордың үстінен өту қозғалыс бағытын (X) сақтай отырып, бірнеше рет қайталанды, содан кейін қозғалыс бағытын өзгертетін экспериментті қайталанды. Диаграммалар 4 және 5-суреттерде келтірілген (тек алғашқы екі өту үшін) [7].

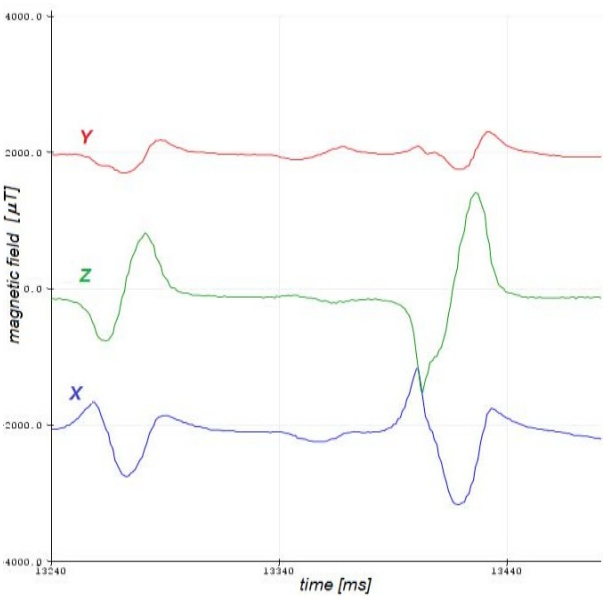
Металл заттың сенсор арқылы қозғалуына байланысты магнит өрісінің бұзылуы екі бағытта айқынырақ көрінеді: тік (Z) және қозғалыс бағыты (X), ал перпендикуляр қозғалыс бағыты

(Y). Әрбір бағыттың бір айнымалыдағы үлесін есепке алу үшін шамасы енгізілген [8]:

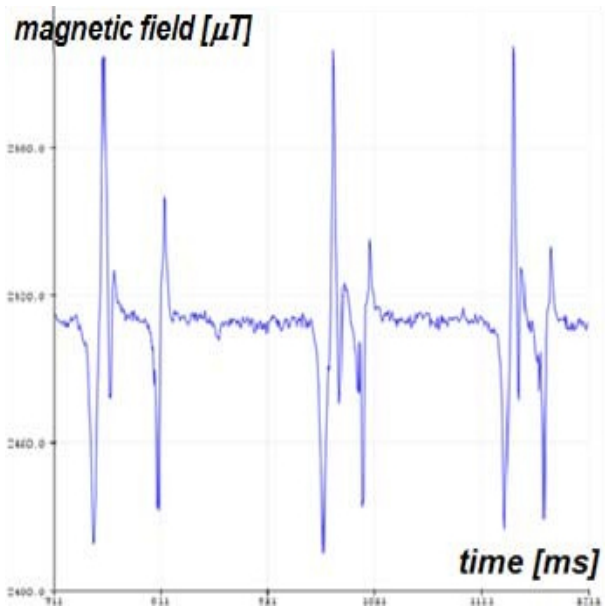
$$M = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (1)$$



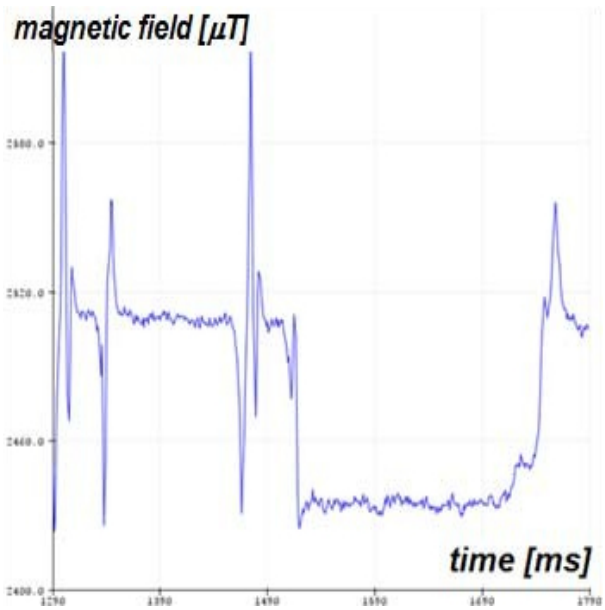
4 - сурет. Алға (X) қозғалыс үшін магнит өрісінің өзгеруі



5 - сурет. Кері қозғалыс үшін магнит өрісінің өзгеруі



6 - сурет. Өтіп бара жатқан үш көліктің үлгісі



7 - сурет. Тоқтаған көліктің үлгісі

Бағыт қабылдау әр өту үшін тексерілді.

В. *Сыртқы сынақтар*

Электронды модуль жерге көміліп, оның үстінен түрлі көліктер өтіп жатыр. М айнымалысының заңдылықтары әр түрлі жағдайлар үшін анықталды.

Екі оське сәйкес келетін әрбір автомобиль үшін екі ауысу байқалды. Бұл тек ауысулар ескерілсе, екі рет анықтауға әкелуі мүмкін.

С. *Нақты бағдаршам сынақтары*

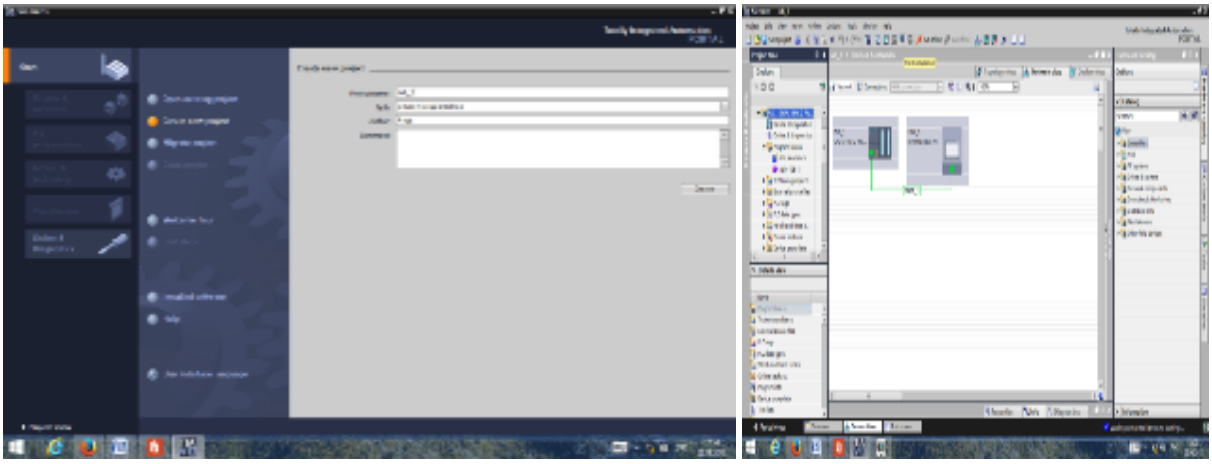
Электрондық модуль жолдың астына толып жатқан қиылыста көмілген (8-сурет), онда ин-

дуктивті цикл орнатылған және ТМС ішінде екі құрылғы үшін де деректерді жинау жүйесі бар. Индуктивті цикл деректерді көлік құралы анықталған бойда жібереді, магниттік сенсоры бар түйін деректерді минутына бір рет жібереді [9].

HMI TOUCH операторының дисплейіне және PLC Simulation бағдарламасына арналған WinCC интерфейстері бар TIA PORTAL дербес компьютерде (ДК) орнатылған. Бұл бағдарламалық жасақтама конфигурациясында микроконтроллердің физикалық болуы талап етілмейді. Цифрлық контроллердің жұмысын модельдеудің бүкіл процесі нақты құрылғылармен пайдалануға дайын жобаның соңғы сақталуымен ДК ішінде жүзеге асырылады [46, б.465]:

1-қадам. Жаңа жобаны іске қосу және құру.8-суретте жаңа жобаны құру кезінде TIA portal негізгі терезесінің күйі, сондай-ақ HMI KTP 900 Basic PN бар PLC S7-314 C2-PN/DP конфигурациясының нәтижесі көрсетілген. Жасыл сызық аппараттық және бағдарламалық жасақтама деңгейінде PLC-дің HMI-мен виртуалды байланысы туралы хабарлайды.

2-қадам. Түймені басу деректерді қалпына келтіру контроллердің компьютерге қосылуына әкеледі 8-суретте көрсетілгендей.



а – бастау терезесі *б – желілік байланыс терезесі*

8 - сурет. TIA portal негізгі терезесі мен желілік байланыс терезесінің көрінісі

Нәтижелер мен талқылау. Қуат тұтынуды барынша азайту қажеттілігіне байланысты микроконтроллердің жұмыс режимі белсенді және қуатты үнемдеу режимдерін ауыстыруы керек. Сондықтан көлік құралдарын санаудың ұсынылған принципі магнит датчигін (Tr) мерзімді оқу және магнитудасын есептеу және оны эталонмен және шекті мәнмен салыстыру үшін орталық блокқа шлюз арқылы мерзімді деректерді беру (tt) болып табылады.. Уақытты таңдау тұтынуды азайту үшін пайдалы ұзақ кезеңдер мен дәл анықтау үшін пайдалы қысқа кезеңдер арасында оңтайландырылуы керек, әсіресе жылдамырақ көліктер өтіп бара жатқанда (сур.9). Екі уақыт кезеңі Tp қарастырылды:

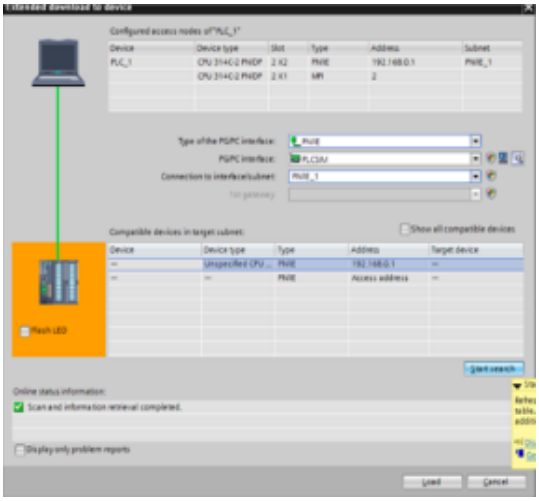
1.120 мс: шаманы (1) пайдаланып есептегенде, шаманың өзгеруі шекті мәнді орнатуды қиындатты. Алгоритм кейбір жағдайларда екі рет анықтауға әкеледі. Бұл у компонентін елемеу арқылы шама формуласының өзгеруіне әкелді:

$$M = X^2 + Z^2 \qquad (2)$$

(2) формуланы пайдалану арқылы іргелес жолақтардағы көлік құралдарының әсері азайды.96 сағат ішінде анықталған көлік құралдарының санын салыстыру индуктивті циклмен салыстырғанда магниттік сенсор анықтаған көлік құралдарының шамамен 30% жоғалуын көрсетті (сур.10)



9 - сурет. Магниттік сенсор қиылыста көмілген



10 - сурет. Компьютердің микроконтроллерге қосылу терезесі

2 кесте - Бақылаушы анықтаған және есептеген көлік құралдарының саны

Сағат	Цикл	Айырмашылық L-O	Магнитті	Айырмашылық M-O	Бақылаушы
10:15	171	-65	291	55	236
10:30	207	-4	219	8	211
10:45	222	-5	231	4	227
11:00	222	-78	300	75	225
11:15	273	-18	315	24	291
11:30	222	-29	303	52	251

2) 60 мс: шамасын есептеу және оқуды калибрлеу үшін жаңа сынақ жүргізілді.2 сағат ішінде трафикті адам бақылаушысы да бақылап отырды. Машиналарды бақылау және адамдарды бақылау нәтижелері 9-суретте келтірілген.

Нәтижелер айтарлықтай жақсарды. Датчик 0,5 м-ден астам қашықтықтағы іргелес жолақтардағы көліктерге әсер етпейді. Магниттік сенсор арқылы анықталған көліктердің саны нақты саннан үш есе көп болды.

Дегенмен, индукциялық циклды санау мен магниттік сенсорды санау арасында айырмашылықтар бар. Себептердің бірі санаудың екі түрі арасында синхрондаудың болмауы мүмкін. Кідіріс 59 секундқа дейін созылуы мүмкін, оның ішінде адамдар көп жиналатын кезеңде 30-дан астам көлік өтуі мүмкін. Сондықтан магниттік сенсор ТМК-ға автомобильдердің санын жіберетін уақыт кезеңі 30 секундқа орнатылды. Осылайша, сенсор жоғары оқу жиілігіне ие және жоғары жылдамдықпен қозғалатын немесе бір-біріне өте жақын қозғалатын көліктер тудыратын күйдің өзгеруін алып келеді. Екі жүйе арасындағы санау айырмашылығы айтарлықтай жақсарып, 9% - ға дейін төмендеді (2 кесте).

Осы жақсартулардан кейін адамның бақылауы арқылы жаңа сынақ жүргізілді. Көріп отырғанымыздай, цикл әрқашан автомобильдерді жоғалтты, ал магниттік сенсор әрқашан автомобильдердің көбірек санын анықтады.

Бұл екі қорытындыға әкеледі:

- магнитті анықтау әдісінің дәлдігін оның кемшіліктері бар басқа әдіспен тексеру дұрыс емес тәсіл болып табылады;

- магниттік сенсордың сезімталдығы тым

жоғары және көрші жолақтардағы көліктер де есептеледі.

Жаз күндерінің ыстық уақытта анықталған көліктер санында үлкен айырмашылықтар бар екені байқалды. MAG3110 сандық магнитометрін өндіруші магнит өрісін өлшеуге температураның қандай да бір әсерін көрсетпейді. Екі сенсордың мерзімді есептері арасындағы шамалы айырмашылықтарға қарамастан, олардың арасындағы айырмашылық 0,298% құрады.

Батареяның қызмет ету мерзімін бағалау белсенді және ұйқы/қуатты өшіру режимдеріндегі құрылғыларының қуат тұтынуын, сондай-ақ осы режимдерге қатысты уақыт кезеңдерін сыналады:

- магниттік датчиктің оқылу кезеңі, Тр (60 мс);

- магниттік сенсордың кіші бағдарламасын оқу ұзақтығы (6 мс);

- шлюзге деректерді беру кезеңі, Тт (30с);

- тарату ішкі бағдарламасының ұзақтығы (100 мс).

Магниттік сенсор әрқашан белсенді, себебі ояту процедурасы уақытты қажет етеді және көлік құралын анықтауды жоғалтуы мүмкін. Демек, әрбір тізбек үшін сағатына ояту уақытын (tph) және сағатына ұйқы уақытын (stph) есептеуге болады.

Белгілі есептеу формуласынан бастап [10] жылдармен көрсетілген батареяның қызмет ету мерзімін келесідей алуға болады:

$$Y = 0.85 \cdot C \cdot \frac{msph}{24 \cdot 365} \cdot \left[\sum_i (Icc_{\text{w}} \cdot wtph + Icc_{\text{s}} \cdot stph) \right] \quad (3)$$

мұндағы:

Y = батареяның қызмет ету мерзімі,

C = батарея сыйымдылығының рейтингі [мач];

msph = 3 600 000 мс (бір сағатта), Icc_w = ояу кездегі құрылғылардың тогы [ма], Icc_s = ұйқы кезіндегі құрылғылардың тогы/қуаты төмен [ма], i = қосынды модульдің әрбір іс үшін орындалатынын білдіреді.

1, 2 Кестелердегі, деректер парағындағы және формуладағы (3) ақпаратты пайдалана отырып, батареяның есептелген қызмет ету мерзімі 2,9 жылды құрайды [11].

Сенсорды жолдың астына көму үшін қолданылатын материалдың сапасы магниттік сенсордың сезімталдығына әсер ететіні байқалды. Ең жойқын материал кварц құмының бір түрі болды, ол есептелген көлемнің жартысына дейін төмендеді.

Қорытынды.Тәжірибелер магниттік сенсордың үстінен өтіп бара жатқан көлікті тек екі осьті, тік осьті және жолақ бағытына параллель осьті пайдаланып анықтау мүмкіндігін дәлелдеді. Іргелес жолақты көлікті анықтау 0,5 м-ге дейін қысқарды, бірақ оны толығымен алып тастау мүмкін болмады.

Әдісті тексеру үшін сілтеме ретінде индуктивті цикл таңдалды. Магниттік сенсордың көрсеткіші 60 мс және деректерді беру кезеңі 30 секунд ішінде жақсы нәтижелерге қол жеткізілді. Индуктивті цикл мен магниттік сенсорды санау арасындағы айырмашылық 9% құрады. Тәжірибелер температураның өзгеруін ескере отырып калибрлеу жүргізілсе, айтарлықтай жақсарғанын көрсетті. Индуктивті цикл мен магниттік сенсорды санау арасындағы айырмашылық 0,298% - ға дейін төмендеді.

Алайда, санау дәлдігі басқа әдіспен салыстырылды, ол өзі дәл емес. Сондықтан әдісті жоғары сенімділікпен растау үшін тікелей санауды жүргізу керек.

Жалпы қуат тұтынуды азайту үшін магниттік сенсордың артық іріктеу коэффициенті (OSR) өңделетін және процессорға жіберілетін үлгілердің аз санын оқу үшін таңдалуы мүмкін. Төмен OSR тұтынуды азайтуды білдіреді, себебі мәнді жіберу үшін сенсор азырақ көрсеткіштер-

ді орындауы керек. Бұл шудың жоғарылауына, бірақ қуат тұтынудың төмендеуіне әкеледі.

Таңдалған байланыс стандарты, LoRa, жер асты эмитентінен сигналдарды қабылдай алатындығы дәлелденді.

Әдебиеттер

1. Atmel, «ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P», Atmel-8271J-AVR - ATmega- Data Table, 11/2015. URL: https://ww1.microchip.com. - Қаралған күні: 05.05.2025.

2. Freescale Semiconductor, «MAG3110. Three-axis, digital magnetometer»// Technical data. - 2022. URL: https://www.nxp.com. - Қаралған күні: 05.05.2025.

3. Microchip Technology, «PIC16F631/677/685/687/689/690» // Datasheet. -DS40001262F. -2015. URL: https://forum.microchip.com. - Қаралған күні: 05.05.2025.

4. Battery Life Calculator/ Oregon Embedded. URL: http://oregonembedded.com. - Қаралған күні: 05.05.2025.5. Микроэлектроника, «RFM95/96/97/98 (W) - маломощный модуль приемника дальнего действия, V1.0»// Таблица Данных. – 2023. URL: www.hoperf.com. - Қаралған күні: 05.05.2025.6. Bugdol M., Krechichvost M., Kasperek P. Vehicle detection system using magnetic sensors// Transport problems. - 2014. - Vol.9 (1). P. 49-90.

7. Anthony S., Lucas D., Theodore T. Fuzzy modeling approach for combined forecasting of urban traffic flow // Computer. - 2008. - Vol. 23 (7). - P.521–535. DOI 10.1111/j.1467-8667.2008.00558.x.

8. Chen H., Grant-Muller S.. Using sequential learning for short-term traffic flow forecasting //Transfer. Summary. Part C: Emerg. Technol. -2001. -Vol.9 (5). - P.319– 336. DOI 10.1016/S0968-090X(00)00039-5.

9. Lin W., Zhang J.1999. Experimental study of real-time bus arrival time prediction with GPS data // Engineering, Computer Science, Geography, Environmental Science. - 1999.-Vol.1666(1) - P.101-109. DOI 10.3141/1666-12.

10. Xie Y., Zhang Y. A wave network model for predicting short-term traffic volumes // Journal of Intelligent Transportation Systems Technology Planning and Operations. - 2006. - Vol.10 (3). -P.141-150. DOI 10.1080/15472450600798551.

11. Zhang Y., Zhirui E. Short-term prediction of traffic flow using fuzzy logic system methods // J. Huajong University. Scientific. Technology.- 2008. -Vol.12 (3). - P.102–112. DOI 10.1080/15472450802262281.

References

1. Atmel, «ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P», Atmel-8271J-AVR - ATmega- Data Table, 11/2015. URL: https://ww1.microchip.com. - Date of address: 05.05.2025.2. Freescale Semiconductor, «MAG3110. Three-axis, digital magnetometer»// Technical data. - 2022. URL: https://www.nxp.com. - Date of address: 05.05.2025.

3. Microchip Technology, «PIC16F631/677/685/687/689/690» // Datasheet. -DS40001262F. - 2015. URL:https://forum.microchip.com/s/search?searchTerm=DS40001262F&page=1&offset=0&selectedTab=comments. - Date of address: 05.05.2025.

4. Battery Life Calculator/ Oregon Embedded. URL: http://oregonembedded.com. - Date of address: 05.05.2025.5. Mikrojelektronika, «RFM95/96/97/98 (W) - malomoshhnyj modul’ priemnika dal’ nego dejstvija, V1.0»// Tablica Dannyh. – 2023. URL: www.hoperf.com. - Қаралған күні: 05.05.2025. [in Russian]

6. Bugdol M., Krechichvost M., Kasperek P. Vehicle detection system using magnetic sensors// Transport problems. - 2014. - Vol.9 (1). P. 49-90.

7. Anthony S., Lucas D., Theodore T. Fuzzy modeling approach for combined forecasting of urban traffic flow // Computer. - 2008. - Vol. 23 (7). - P.521–535. DOI 10.1111/j.1467-8667.2008.00558.x.

8. Chen H., Grant-Muller S.. Using sequential learning for short-term traffic flow forecasting //Transfer. Summary. Part C: Emerg. Technol. -2001. -Vol.9 (5). - P.319– 336. DOI 10.1016/S0968-090X(00)00039-5.

9. Lin W., Zhang J.1999. Experimental study of real-time bus arrival time prediction with GPS data // Engineering, Computer Science, Geography, Environmental Science. - 1999.-Vol.1666(1) - P.101-109. DOI 10.3141/1666-12.

10. Xie Y., Zhang Y. A wave network model for predicting short-term traffic volumes // Journal of Intelligent Transportation Systems Technology Planning and Operations. - 2006. - Vol.10 (3). -P.141-150. DOI 10.1080/15472450600798551.

11. Zhang Y., Zhirui E. Short-term prediction of traffic flow using fuzzy logic system methods // J. Huajong University. Scientific. Technology.- 2008. -Vol.12 (3). - P.102–112. DOI 10.1080/15472450802262281.

Авторлар туралы мәлімет

Бельгибаев Б. А. - техника ғылымдарының докторы, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: bbelgibaev@list.ru;

Жамангарин Д.С. - Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, PhD доктор, қауымдастырылған профессор, Астана, Қазақстан, e-mail: Dus_man89@mail.ru;

Майлыбаев Е.Қ. - PhD доктор, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: ersind@mail.ru;

Тулегулов А.Д.-физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ. Құлажанов атындағы ҚазТБУ, Астана. Қазақстан, e-mail: tad62@ya.ru;

Information about the authors

Belgibaev B.A. -Doctor of Technical Sciences, Al-Farabi Kazakh National University Almaty, Kazakhstan, e-mail: bbelgibaev@list.ru;

Zhamangarin D.S. - L. N. Gumilyov Eurasian National University, PhD, Associate Professor, Astana, Kazakhstan, e-mail: Dus_man89@mail.ru;

Mailybaev Ye.K.- PhD, International Transport and Humanitarian University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ersind@mail.ru;

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;

МРНТИ 20.53.19 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1083**

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫЕ И НЕВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫЕ ТОКЕНЫ СО СНИМКАМИ В JAVA

[1]Б. Рысбекқызы✉, [1]Ә.Ж. Изат, [2]А. Рыспек

[1]Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
[2]Astana IT University, Астана, Казахстан

✉*Корреспондент-автор: bakhytgulz@mail.ru*

Многие блокчейн-приложения обмениваются токенами, такими как биткоин и эфир, или реализуют их с помощью смарт-контрактов. Тенденция в блокчейне заключается в неизменном применении стандартов взаимодействия токенов от платформы к платформе, облегчая задачи проектирования с помощью надежных и широко используемых спецификаций. Однако использование семантики целевого языка может привести к технологическим преимуществам и более эффективным контрактам. Целью статьи представлен реинжиниринг реализации стандартов ERC-20 и ERC-721 OpenZeppelin в Takamaka, Java-фреймворке для программирования смарт-контрактов. Актуальным является решение проблемы о типах, разрешенных для владельцев токенов, и новая реализация для создания моментальных снимков токенов на основе древовидных карт, которая возможна в виртуальной машине Java. Более того, это относится и к ERC-721, где ранее отсутствовал механизм моментального снимка. Тот же механизм моментального снимка может быть применен и за пределами смарт-контрактов для токенов.

Ключевые слова: смарт-контракт, модернизация программного обеспечения, Блокчейн, Токен, ERC-20, ERC-721.

FUNGIBLE AND NON-FUNGIBIE TOKENS WITH SNAPSHOTS IN JAVA

[1]B. Rysbekkyzy✉, [1]A.Zh. Izat, [2]A. Ryspek

[1]Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Astana IT University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: bakhytgulz@mail.ru

Many blockchain applications exchange tokens such as bitcoin and ether, or implement them using smart contracts. The trend in blockchain is to consistently apply token interaction standards from platform to platform, making design tasks easier with reliable and widely used specifications. However, using the semantics of the target language can lead to technological advantages and more efficient contracts. The purpose of the article is to reengineer the implementation of the ERC-20 and ERC-721 OpenZeppelin standards in Takamaka, a Java framework for programming smart contracts. It is relevant to solve the problem of the types allowed for token holders, and a new implementation for creating snapshots of tokens based on tree maps, which is possible in the Java virtual machine. Moreover, this also applies to ERC-721, which previously lacked a snapshot mechanism. The same snapshot mechanism can be applied outside of smart contracts for tokens.

Keywords: smart contract, software upgrade, Blockchain, Token, ERC-20, ERC-721

JAVA-ДАҒЫ СУРЕТТЕРІ БАР АУЫСПАЛЫ ЖӘНЕ АУЫСПАЛЫ ЕМЕС ТОКЕНДЕР

[1]Б. Рысбекқызы✉, [1]Ә.Ж. Изат, [2]А. Рыспек

[1]Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Astana IT University, Астана, Қазақстан,
e-mail: bakhytgulz@mail.ru

Көптеген блокчейн қосымшалары Bitcoin және Ether сияқты токендермен алмасады немесе оларды ақылды келісімшарттар арқылы жүзеге асырады. Блокчейндегі Тенденция платформадан платформаға токендердің өзара әрекеттесу стандарттарын үздіксіз қолдану болып табылады, бұл сенім-

ді және кеңінен қолданылатын сипаттамалар арқылы дизайн тапсырмаларын жеңілдетеді. Алайда, мақсатты тілдің семантикасын қолдану технологиялық артықшылықтар мен тиімді келісімшарттарға әкелуі мүмкін. Мақаланың мақсаты-Takamaka-да ERC-20 және ERC-721 OpenZeppelin стандарттарын іске асыруды қайта құру, ақылды келісімшарттарды бағдарламалауға арналған Java шеңбері. Токен иелері үшін рұқсат етілген түрлер мәселесін шешу және Java виртуалды машинасында мүмкін болатын ағаш карталарына негізделген таңбалауыштардың суреттерін жасау үшін жаңа іске асыру өзекті болып табылады. Сонымен қатар, бұл бұрын суретке түсіру механизмі болмаған ERC-721-ге де қатысты. Дәл осындай суретке түсіру механизмін таңбалауыштар үшін ақылды келісімшарттардан тыс қолдануға болады.

Түйін сөздер: смарт-келісімшарт, бағдарламалық жасақтаманы жаңғырту, Блокчейн, Токен, ERC-20, ERC-721.

Введение. Для мирового крипторынка этот год может стать годом «фундаментальных изменений». Среди них расширение возможностей спотовых ETF (exchange-traded fund), интеграция искусственного интеллекта и токенизация активов. Все это, поможет создать более устойчивую и прибыльную экосистему. Президент Республики Казахстан Касым-Жомарт Токаев отметил, что в глобальной финансовой сфере наметился разворот к широкому использованию криптовалют и других цифровых активов и в таких условиях стране необходимо иметь четкую стратегию действий, направленных на преодоление новых вызовов.

Блокчейны используют [1] избыточное параллельное выполнение одних и тех же транзакций в децентрализованной сети машин для обеспечения их выполнения в соответствии с набором предопределенных правил. А именно, блокчейны затрудняют для отдельной машины нарушение семантики транзакций или их упорядочения: неправильно работающая отдельная машина немедленно выводится из консенсуса и изолируется. Биткойн [2] стал первой историей успеха блокчейна. Биткойн-транзакции - это переводы криптовалюты между счетами с особым правилом, согласно которому одни и те же средства не могут быть потрачены дважды. Криптовалюта [3] Bitcoin стала первым примером блокчейн-токена.

Через несколько лет после Биткоина другой блокчейн, называемый Ethereum [4, 6], представил возможность программирования транзакций на реальном императивном языке программирования Solidity, код которого скомпилирован для виртуальной машины Ethereum (EVM). Транзакции Ethereum по-прежнему оплачиваются в терминах его собственного токена ether, но они выполняют гораздо больше, чем переводы собственных токенов. А именно, транзакции также могут запускать конструкторы объектов и методы кодовых единиц, называемых смарт-контрактами, так что блокчейн Ethereum становится своего рода мировым компьютером, который сохраняет одни и те же объекты в памяти всех машин в сети блокчейна. Транзакции, включенные в блоки блокчейна, должны быть одинаковыми на каждой машине сети и приводить к одному и тому же результату. Машины, которые не соблюдают это правило, будут выведены из консенсуса, и их будущие транзакции будут отклонены другими машинами.

Как правило, смарт-контракты пишутся с использованием доменных языков, таких как Solidity, которые имеют специфические функции и ограничения для блокчейна. Совсем недавно тенденция в разработке смарт-контрактов сместилась в сторону использования хорошо известных языков программирования общего назначения, предоставляющих полезные синтаксические функции, отсутствующие в доменных языках, наряду с готовыми к использованию доступными наборами инструментов разработчика. Это открыло возможность реинжиниринга и оптимизации реализации нескольких существующих стандартов для различных блокчейнов. Java относится к числу этих языков общего назначения, поскольку пользуется большой попу-

лярностью [5] и современным набором инструментов программирования.

Популярный класс смарт-контрактов Solidity реализует динамический реестр переводов монет между счетами. Эти монеты являются не нативными токенами, а скорее новыми, производными токенами, реализованными в программном обеспечении с помощью смарт-контракта. Естественные и производные токены могут быть классифицированы многими способами [4,6]. Самая популярная классификация – это разделение на взаимозаменяемые и невзаимозаменяемые токены. Взаимозаменяемые токены взаимозаменяемы друг с другом, поскольку они имеют одинаковую номинальную стоимость, которая не привязана к какому-либо конкретному экземпляру токена. Как нативные токены, так и традиционные (фиатные) валюты являются взаимозаменяемыми токенами. Их основное применение - в области коллективного финансирования проектов и в первоначальных предложениях монет для поддержки стартапов. Так как, несменяемые токены имеют значение, которое зависит от их конкретного экземпляра. Следовательно, в целом они не взаимозаменяемы. В настоящее время их основное применение находится на рынке произведений искусства, где они представляют собой письменное заявление о передаче авторских прав правообладателю, в играх и, в целом, при нотариальном заверении.

Материалы и методы. Появилось несколько стандартов для взаимозаменяемых и нефункционирующих токенов, которые должны гарантировать корректность [7], доступность, интероперабельность, управление и безопасность смарт-контрактов [8,9], которые управляют токенами. Среди них запрос Ethereum на комментарий #20 (ERC-20 [11,12]) и #721 (ERC-721 [10]) являются наиболее популярными для взаимозаменяемых и невзаимозаменяемых токенов, соответственно, также за пределами Ethereum [4,6]. Они предоставляют разработчикам список правил, необходимых для корректной интеграции токенов с другими смарт-контрактами и приложениями, внешними по отношению к блокчейну, такими как кошельки, исследователи блоков, децентрализованные финансовые протоколы и игры.

Наиболее популярными реализациями стандарта ERC-20 являются Solidity, разработанная OpenZeppelin, командой программистов сообщества Ethereum, которые предоставляют полезные и безопасные смарт-контракты и библиотеки, и ConsenSys [8], позже устаревшая в пользу OpenZeppelin. Реализация ledger в OpenZeppelin использует сопоставление с целым числом, указывающим количество токенов, которыми владеет кто то. Эта карта является динамической, следовательно, она позволяет отслеживать процесс создания и передачи токенов. OpenZeppelin расширяет ERC-20 с помощью моментальных снимков, т.е. неизменяемые представления состояния токен-контракта, которые показывают его бухгалтерскую книгу в определенный момент времени. Они полезны для расследования последствий атаки, для создания форков токена и для реализации механизмов, основанных на балансах токенов, таких как взвешенное голосование. Моментальные снимки необходимы также для обеспечения неизменяемого представления бухгалтерской книги, которое может быть запрошено клиентом без риска того, что оно изменится во время запроса, что приведет к возникновению состояния гонки.

В случае ERC-721 стандартная реализация находится в Solidity, опять же от Open Zeppelin [8]. Эта реализация не предоставляет механизма моментального снимка, несмотря на полезность такой функции. Причина в том, что и без того очень сложная реализация в Solidity моментальных снимков для ERC-20 становится неразрешимой для более сложного стандарта ERC-721.

Спорный вопрос о токенах ERC-20 и ERC-721 заключается в том, кто может владеть токенами. Общепризнано, что учетные записи, принадлежащие внешним пользователям, могут содержать токены: это учетные записи, контролируемые людьми или внешними приложениями, следовательно, их поведение не является фиксированным. Как только они получат токен, человек или приложение могут решить сохранить его или продать в будущем. В этом случае нет риска

того, что токен останется заблокированным. Однако стандарты ERC-20 и ERC-721 также позволяют контрактам содержать токены. Это проблематично, поскольку контракты контролируются их кодом, который является неизменяемым. Если контракт получает токен, а его код не готов к работе с ним, в результате токен застревает навсегда: контракт никогда не будет его использовать и никогда не продаст его вперед. В Solidity нет решения этой проблемы, поскольку Solidity представляет как внешние учетные записи, так и контракты с одинаковым типом адреса, что делает их неразличимыми. Реализации ERC-721 пытались ограничить эту проблему ошибочным и хрупким способом, требуя, чтобы контракты, получающие токены ERC-721, должны были реализовывать интерфейс IERC721Receiver. По крайней мере, это подтверждает, что программист контракта был осведомлен о том, что последний может получать токены. К сожалению, в Solidity нет экземпляра operator для проверки реализации интерфейса, поскольку значения адресов не упакованы в Ethereum и не содержат информации о динамическом типе [9]. Как следствие, решение, основанное на стандарте ERC-165, является сложным, хрупким и, наконец, добровольным, так что его можно очень легко обойти, если контракты обманывают в отношении реализуемых ими интерфейсов.

Обсуждение и результаты. Актуальностью и практическим применением документа заключается в следующем:

- подробный анализ реализации ERC-20 и ERC-721 в OpenZeppelin Solidity;

- *are-разработанное решение, использующее функции Java, неприменимые в Solidity, для создания более чистых реализаций обоих стандартов;

- проверка того, что контракты, содержащие токены ERC-721, действительно реализуют приемник IERC721;

- реализация механизма для создания эффективных моментальных снимков в виртуальной машине Java (JVM), как для ERC-20 и ERC-721, которые фактически применялись и за пределами этих двух видов смарт-контрактов.

Разработанные смарт-контракты доступны в библиотеке поддержки Takamaka в виде непатентованного кода с открытым исходным кодом [8]. Они работают в блокчейне Hot moka [4], следовательно, не в блокчейнах, подобных Ethereum. В частности, смарт-контракты Hotmoka написаны на подмножестве Java под названием Takamaka, следовательно, не в Solidity. Такамака использует инструментарий байт-кода и аннотации к коду (метки, начинающиеся с @, такие как @View или @FromContract) для реализации концепций, специфичных для смарт-контрактов. Токены ERC-20 и ERC-721 ранее не портировались на Takamaka, следовательно, это первая версия ERC-20 и ERC-721 для этой платформы. Более того, насколько нам известно, это первая реализация токенов [10] ERC-721, которые корректно проверяют владельцев для реализации IERC721Receiver и которые предоставляют моментальные снимки. Решение и проблемы, связанной с типом держателей, которым разрешено хранить токены, которую Solidity пытается решить, используя частичный и хрупкий подход ERC-стандарт 165.

Языки могут иметь различные семантики для на первый взгляд похожих конструкций или требовать различных стилей кодирования для оптимизации, что чаще всего бывает в случае компиляции в разные виртуальные машины. Например, Vyper и Solidity компилируются для одной и той же EVM, и перевод из Solidity в Vyper почти мгновенный. Takamaka компилируется для JVM, и перевод из Solidity в Takamaka более сложен. Во многих случаях различные языки программирования имеют специфические решения, которые нельзя буквально перевести: например, в Java есть оператор instanceof, поэтому бессмысленно переводить технику, основанную на ERC-165 в Solidity для разрешения контрактам иметь только ERC-721 токены, если они явно не объявляют о реализации определенного интерфейса. Просто использовать instanceof в Java. Тем не менее, наш анализ обоих языков выявляет некоторые шаблоны перевода из Solidity в Takamaka.

ERC-20 и его реализация на открытом дири-

жабле.

Стандарт ERC-20 [11] определяет интерфейс с девятью функциями и двумя событиями, т.е. неизменяемыми метками, сохраняемыми в блокчейне для подтверждения некоторых логических поворотных моментов. Владельцами токенов являются адреса. В Solidity это нетипизированные указатели на внешние учетные записи (своего рода банковские счета, контролируемые внешним приложением или человеком) или на контракты (объекты, управляемые их кодом). Хотя в принципе контракты могут содержать токены, это может быть проблематично, если их код не запрограммирован для работы с такими токенами. В таком случае токены могут остаться заблокированными навсегда, поскольку только контракт может передавать их, но код контракта не имеет отношения к передаче токенов. Поэтому обычно предполагается, что токенами владеют только внешние учетные записи, но реализации ERC-20 не проверяют это ограничение и не запрещают передавать токены в контракты, даже непреднамеренно.

Прямые переводы: функция totalSupply() возвращает целочисленное общее количество токенов, находящихся в обращении. balanceOf(владелец адреса) показывает количество токенов, которыми владеет владелец. передача (адрес to, значение uint) переносит токены value с баланса вызывающего абонента на баланс to (uint - целое число без знака, равное 256 битам). Эта функция должна генерировать событие передачи.

Делегированные переводы: функция approve (делегат адреса, uint cap) позволяет делегату передавать до токенов cap от имени вызывающего абонента. Он должен выдать событие утверждения. передача от (владелец адреса, адрес кому, значение uint) передает токены значения от владельца к кому, но только в том случае, если владелец одобрил это вызывающей стороне. Эта функция должна генерировать событие передачи, разрешение (владелец адреса, делегат адреса) дает количество токенов, которые делегат был одобрен для передачи от имени владельца.

Необязательная информация: name() возвращает название токенов. symbol() возвращает символ токенов. функция decimals() возвращает количество десятичных разрядов токенов.

Первая часть интерфейса это просто API, динамической книги балансов токенов. Код OpenZeppelin, показанный на рис.1, хранит баланс пользователя в field_balances2 сопоставления типа (адрес ¼ [uint), который привязывает каждый адрес к количеству токенов, которые он хранит, и с целым полем _totalSupply, назначенным во время создания контракта. Вторая часть интерфейса позволяет владельцам токенов делегировать другим участникам передачу ограниченного количества токенов. Open Zeppelin реализует это через поле _allowances типа mapping (address =[сопоставление (address =[uint)): сопоставление от каждого владельца токена к другому сопоставлению от каждого делегата к его разрешенной шапке. Третья часть - просто информация о токенах в манифесте.

Как transfer, так и transfer From используют внутреннюю функцию _transfer, которая перемещает токены от владельца к получателю to, вызывая обработчик _beforeTokenTransfer. По умолчанию это ничего не делает, но подклассы могут переопределить его, чтобы добавить дополнительные функциональные возможности в контракт. Функция _transfer выполняет защитную проверку на наличие пропущенных значений (адрес(0)), которые могут возникнуть в результате неправильного использования контракта. Функция transfer From дополнительно проверяет, действительно ли владелец токенов делегировал msg.sender (вызывающему функцию) передать хотя бы токены value от его имени. Эта проверка выполняется после вызова _transfer, что нормально, поскольку функции Solidity не фиксируют свои побочные эффекты в случае сбоя. Код перевода их заканчивается вызовом _approve (не показан), который уменьшает допустимое значение.

OpenZeppelin добавляет функцию _mint, которая инициализирует общий запас токена: она является внутренней, поскольку предназначена для вызова из конструкторов подклассов, кото-

рые развертывают фактические экземпляры контракта. Эта функция использует адрес(0) для представления того факта, что отчеканенные токены берутся из ниоткуда.

```
contract ERC20 is IERC20 {
  mapping (address => uint) private _balances;
  mapping (address => mapping (address => uint)) private _allowances;
  uint private _totalSupply;
  string private _name;
  string private _symbol;

  constructor(string name_, string symbol_) { _name = name_;  _symbol = symbol_; }

  function totalSupply() public view virtual override returns (uint) {
    return _totalSupply;
  }

  function balanceOf(address owner) public view virtual override returns (uint) {
    return _balances[owner];
  }

  function transfer(address to, uint value) public virtual override {
    _transfer(msg.sender, to, value);
  }

  function allowance(address owner, address delegate) public view virtual override returns (uint) {
    return _allowances[owner][delegate];
  }

  function transferFrom(address owner, address to, uint value) public virtual override {
    _transfer(owner, to, value);
    uint currentAllowance = _allowances[owner][msg.sender];
    require(currentAllowance >= value, "transfer excess");
    _approve(owner, msg.sender, currentAllowance - value);
  }

  function _transfer(address owner, address to, uint value) internal virtual {
    require(owner != address(0), "transfer zero address");
    require(to != address(0), "transfer to zero address");
    _beforeTokenTransfer(owner, to, value);
    uint senderBalance = _balances[owner];
    require(senderBalance >= value, "transfer excess");
    _balances[owner] = senderBalance - value;
    _balances[to] += value;
    emit Transfer(owner, to, value);
  }

  function _mint(address account, uint amount) internal virtual {
    require(account != address(0), "mint to zero address");
    _beforeTokenTransfer(address(0), account, amount);
    _totalSupply += amount;
    _balances[account] += amount;
    emit Transfer(address(0), account, amount);
  }

  function _beforeTokenTransfer(address from, address to, uint amount) internal virtual {
  }
}
```

Рис.1 - Фрагмент реализации ERC-20 OpenZeppelin в Solidity

ERC-721 и его реализация на открытом дирижабле.

Стандарт ERC-721 [11] определяет интерфейс с десятью функциями и тремя событиями. Что касается стандарта ERC-20, владельцами токенов могут быть как внешние учетные записи, так и контракты, но контрактов след

ует избегать, если только они не были явно запрограммированы для работы с токенами ERC-721.

Функции стандарта ERC-721 предназначены для:

1. Прямые переводы: balanceOf (владелец адреса) показывает количество токенов, которыми владеет владелец. ownerOf (uint tokenId) возвращает владельца данного токена, если таковой имеется. transferFrom(адрес from, адрес to, uint tokenId) передает данный токен из from в to. В общем, вызывающий эту функцию должен совпадать с from или, по крайней мере, быть авторизован для передачи данного токена от имени from (смотрите позже). Эта функция даже не пытается проверить, является ли to внешней учетной записью или контрактом, который сможет работать с токеном. Если это не так, токен будет передан в to и закреплен навсегда. Из-за этого эта функция считается небезопасной. Эта функция должна генерировать событие передачи. safeTransferFrom(адрес from, адрес to, uint tokenId) ведет себя как transferFrom, но дополнительно пытается гарантировать, что to является внешней учетной записью или контрактом, способным работать с токеном. В этом смысле он считается безопасным.

2. Делегирование: функция approve (делегат адреса, uint tokenId) позволяет делегату передавать данный токен от имени вызывающей функции, которая должна быть владельцем токена или сама являться авторизованным оператором для токена. Предыдущий делегат (если таковой имеется) теряет свое делегирование после вызо-

ва этой функции. Эта функция генерирует событие утверждения. Функция устанавливает утверждение для всех (address operator, bool approved) позволяет оператору передавать все токены, принадлежащие вызывающей функции (если значение approved равно true), или удаляет это право (если значение approved равно false). Можно разрешить большее количество операторов для каждого владельца токена. Эта функция выдает подтверждение для всего события. get Approved (идентификатор токена uint) возвращает делегат для данного токена, если таковой имеется. Одобрено для всех (владелец адреса, оператор адреса) определяет, был ли оператор уполномочен передавать все токены, принадлежащие владельцу.

3. Необязательная информация: name () возвращает название токенов. symbol () возвращает символ токенов.

Реализация стандарта ERC-721 в OpenZeppelin относительно длительная, поэтому приводим только часть кода на рис.2. Большая часть информации хранится в четырех картах: _owners указывает, кто является владельцем каждого данного токена; _balances сообщает, сколько токенов принадлежит каждому данному владельцу; _tokenApprovals указывает, какой делегат был авторизован для каждого данного токена (если таковой имеется); и _operatorApprovals выдает набор утвержденных операторов для каждого владельца токена. Обратите внимание, что отображение (address =[book) на самом деле является набором утвержденных операторов: Solidity не имеет типа set, следовательно, наборы кодируются как их характерная карта.

TransferFrom вызывает вспомогательную функцию _transfer, которая уменьшает баланс отправителя, увеличивает баланс получателя и присваивает токен получателю (to). Нет никакой проверки того факта, что to на самом деле является внешней учетной записью или контрактом, способным работать с токеном, который он получает. Идея заключается в том, что контракты, готовые к получению токенов ERC-721, должны быть явно помечены их программистом как реализующие интерфейс IERC721Receiver, чей единственный метод onReceive вызывается, когда контракты получают токен ERC-721. В общем, было бы достаточно проверить это в instanceof IERC721Receiver, чтобы убедиться, что программист действительно ожидал, что контракт получит токены ERC-721, и вызвать onReceive в этом случае. Но это невозможно в Solidity, поскольку в этом языке отсутствует оператор instanceof и, как правило, в нем отсутствует какой-либо способ проверки динамического типа значений. Это не просто упущенная функция: на самом деле реализовать такую проверку в Solidity невозможно, поскольку Ethereum реализует данные в виде распакованных значений, так что их динамический тип недоступен и никакой оператор instanceof никогда не может быть реализован. Из-за этого ограничения программисты Solidity используют очень громоздкую технику, основанную на стандарте ERC-165 [12,13], заключающуюся в добавлении функции, которая выдает хэш сигнатур методов, реализуемых контрактом. Вызывая эту функцию, во время выполнения можно угадать интерфейсы, реализуемые контрактом. Этот метод очень прост, поскольку контракты могут свободно обманывать и притворяться, что реализуют интерфейс, который они на самом деле не реализуют. Однако это лучшее, что может сделать программист в Solidity. Существует еще более слабый подход к решению этой проблемы. А именно, стандарт токенов ERC-223 [12,13] требует, чтобы получатель токена передавал интерфейс IERC223Recipient, а затем вызывал его метод tokenReceived. Если получатель не реализует такой метод, транзакция завершается неудачей. Это даже слабее, чем ERC-165, поскольку он не пытается гарантировать, что получатель действительно был объявлен для реализации IERC223Recipient: приведения не проверяются в Solidity, они являются чистыми декорациями, чтобы заставить компилятор принять код, но они не проверяются во время выполнения.

Практическая значимость таких стандартов возрастает с развитием применения технологии блокчейн за пределами исходного контекста криптовалюты. Сегодня технология блок-

чейн используется в различных областях, таких как отслеживание энергопотребления, транспортные системы, управление цепочками поставок, IoV, IoT, облачные вычисления, поддержка децентрализации Интернета, а также включает технологию для децентрализованных идентификаторов. Различные контексты применения также подразумевают разные языки программирования, системы и платформы, которые должны реализовывать и поддерживать эти стандарты. Например, Hyperledger Fabric предлагает образцы реализации на Java, Go, Javascript. В отличие от этого, для Cosmos существуют реализации, написанные на Rust.

Выводы. В этой статье представлены несколько шаблонов для миграции кода из Solidity в Takamaka, применяемых к конкретным примерам контрактов ERC-20 и ERC-721. Он показывает улучшение буквального перевода кода контрактов ERC-20 с снимками с использованием карт с неизменяемыми клонами, недоступными в Solidity, но реализованными в других языках программирования. Показано, что та же техника применяется к контрактам ERC-721, где ранее отсутствовали снимки. Результаты подтверждены тестовым случаем, который демонстрирует реинжиниринг реализации стандартов ERC-20 и ERC-721 OpenZeppelin в Takamaka, Java-фреймворке для программирования смарт-контрактов. Возможность создания неизменяемых клонов карт полезна для упрощения кода других контрактов, где Solidity должен использовать сложный код или прибегать к событиям для отметки исторического развития данных и их восстановления.

Литература

1. Alazab, M., Alhyari, S., Awajan, S.W., Abdallah, A.B.: Blockchain technology in supply chain management: an empirical study of the factors affecting user adoption/acceptance//Clust. Comput.-2021.- Vol.24(1).- P.83–101. DOI10.1007/s10586-020-03200-4.

2. Alfandi, O., Khanji, S.I.R., Ahmad, L., Khattak, A.M.: A survey on boosting IoT security and privacy through Blockchain//Clust. Comput.- 2021. -Vol.24(1).- P.37-55. DOI 10.1007/s10586-020-03137-8.

3. Тусупов Д.А., Керімқұл С.Е., Изат Ә.Ж., Рысбекқызы Б., Криптовалютаны айырбастау - майнингті реттеу проблемасы//Труды Университета, Караганда, КарТУ им. А.Сагинова.- 2023.- 3(92) - С.504-512. DOI 10.52209/1609-1825_2023_3_504.

4. Antonopoulos, A.M.: Mastering Bitcoin: Programming the Open Blockchain, 2nd edn. O’Reilly, Sebastopol (2017). URL https://vk.com.- Date of access: 19.05.2025

5. Antonopoulos, A.M., Wood, G.: Mastering Ethereum: Building Smart Contracts and DApps. O’Reilly, Sebastopol (2018).URL https://books.google.co.in.- Date of access: 19.05.2025

6. Benini, A., Gambini, M., Migliorini, S., Spoto, F.: Power and pitfalls of generic smart contracts. In: Third International Conference on Blockchain Computing and Applications (BCCA’21), Tartu, Estonia, November 2021.- P.179–186. DOI 10.1109/BCCA53669.2021.9657048.

7. Buterin, V.: Ethereum Whitepaper (2013).URL https://ethereum.org/ en/whitepaper. Accessed October 2022.- Date of access: 19.05.2025

8. Carbonnelle, P.: PYPL. URL https://pypl.github.io/PYPL.html. Accessed July 2022.- Date of access: -21.05.2025

9. ConsenSys: Consensys Tokens. ConsenSys. URL https://github.com/ ConsenSys/Tokens. Accessed July 2022.- Date of access: 21.05.2025

10. Crafa, S., Di Pirro, M., Zucca, E.: Is Solidity solid enough?// Lecture Notes in Computer Science, St. Kitts and Nevis.- 2019.- P. 138-153.

11. Crosara, M., Olivieri, L., Spoto, F., Tagliaferro, F.: Re-engineering ERC-20 smart contracts with efficient snapshots for the Java virtual machine. In: Third International Conference on Blockchain Computing and Applications (BCCA'21), Tartu, Estonia, November 2021. – P.187–194. IEEE (2021) DOI 10.1109/BCCA53669.2021.9657047

12. Entrinken, W., Shirley, D., Evans, J., Sachs, N.: EIP-721: ERC721 Token Standard, Ethereum Improvement Proposals, No.721 (2018). URL https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-721. - Date of access: -21.05.2025

13. Das, D., Banerjee, S., Chatterjee, P., Biswas, M., Biswas, U., Alnumay, W.S.: Design and development of an intelligent transportation management system using Blockchain and smart contracts//Clust. Comput. - 2022. -Vol.25(9). - P.1-15. DOI10.1007/s10586-022-03536-z

References

1. Alazab, M., Alhyari, S., Awajan, S.W., Abdallah, A.B.: Blockchain technology in supply chain management: an empirical study of the factors affecting user adoption/acceptance//Clust. Comput.-2021.-Vol.24(1).- P.83–101. DOI10.1007/s10586-020-03200-4.

2. Alfandi, O., Khanji, S.I.R., Ahmad, L., Khattak, A.M.: A survey on boosting IoT security and privacy through Blockchain//Clust. Comput.- 2021. -Vol.24(1).- P.37-55. DOI 10.1007/s10586-020-03137-8

3. Tusupov D.A., Kerimқұl S.E., Izat Ә.Zh., Rysbekқyzy B., Kriptovaljutany ajyrbastau - majningti retteu problemasy//Trudy Universiteta, Karaganda, KarTU im. A.Saginova.- 2023.- 3(92) - S. 504-512. DOI 10.52209/1609-1825_2023_3_504. [in Kazakh]

4. Antonopoulos, A.M.: Mastering Bitcoin: Programming the Open Blockchain, 2nd edn. O'Reilly, Sebastopol (2017). URL https://vk.com .- Date of access: 19.05.2025

5. Antonopoulos, A.M., Wood, G.: Mastering Ethereum: Building Smart Contracts and DApps. O'Reilly, Sebastopol (2018).URL https://books.google.co.in.- Date of access: 19.05.2025

6. Benini, A., Gambini, M., Migliorini, S., Spoto, F.: Power and pitfalls of generic smart contracts. In: Third International Conference on Blockchain Computing and Applications (BCCA'21), Tartu, Estonia, November 2021.- P.179–186. DOI 10.1109/BCCA53669.2021.9657048.

7. Buterin, V.: Ethereum Whitepaper (2013).URL https://ethereum.org/ en/whitepaper. Accessed October 2022.- Date of access: 19.05.2025

8. Carbonnelle, P.: PYPL. URL https://pypl.github.io/PYPL.html. Accessed July 2022.- Date of access: -21.05.2025

9. ConsenSys: Consensys Tokens. ConsenSys. URL https://github.com/ ConsenSys/Tokens. Accessed July 2022.- Date of access: 21.05.2025

10. Crafa, S., Di Pirro, M., Zucca, E.: Is Solidity solid enough?// Lecture Notes in Computer Science, St. Kitts and Nevis.- 2019.- P. 138-153.

11. Crosara, M., Olivieri, L., Spoto, F., Tagliaferro, F.: Re-engineering ERC-20 smart contracts with efficient snapshots for the Java virtual machine. In: Third International Conference on Blockchain Computing and Applications (BCCA'21), Tartu, Estonia, November 2021. – P.187–194. IEEE (2021) DOI 10.1109/BCCA53669.2021.9657047

12. Entrinken, W., Shirley, D., Evans, J., Sachs, N.: EIP-721: ERC721 Token Standard, Ethereum Improvement Proposals, No.721 (2018). URL https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-721. - Date of access: -21.05.2025

13. Das, D., Banerjee, S., Chatterjee, P., Biswas, M., Biswas, U., Alnumay, W.S.: Design and development of an intelligent transportation management system using Blockchain and smart contracts//Clust. Comput. - 2022. -Vol.25(9). - P.1-15. DOI10.1007/s10586-022-03536-z

Сведения об авторах

Рысбекқызы Б. - PhD, и.о.доцента Карагандинского технического университета им. Абылкаса Сагинова , Караганда, Казахстан, e-mail: bakhytgulz@mail.ru;

Изат Ә.Ж. -инженер Казахстанского многопрофильного института Реконструкции и Развития (КазМИРР), Караганда, Казахстан, e-mail: celovek.dobra@gmail.com;

Рыспек А. Н. - Astana IT University, Астана, Қазақстан, e-mail:bakhytgulz@mail.ru

Rysbekkyzy B. - PhD, Acting Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail:Bakhytgulz@mail.ru;

Izat A.- Engineer of the Kazakhstan Multidisciplinary Institute of Reconstruction and Development (KazMIRR), Karaganda, Kazakhstan, e-mail: celovek.dobra@gmail.com;

Ryspek A. - Astana IT University, Астана, Kazakhstan„e-mail: bakhytgulz@mail.ru

IRSTI 50.09.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1138**

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR SLM-3D PRINTER PROTOTYPE CONTROL SYSTEM USING KLIPPER FIRMWARE PROGRAM

[1]A.D. Tulegulov, [1]N.S. Smakova✉, [1]K.M. Akishev, [1]Zh.H. Zhantlesov, [1]B.A. Serimbetov, [1]A.D. Musabaev, [2]A. Sterenhartz

[1]K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[2]Technical University of Berlin, Berlin, Germany

✉*Corresponding author: nuri_5@mail.ru*

The paper presents the development of a simplified laboratory selective laser melting (SLM) unit aimed at cheapening the technology by replacing the complex powder feeding system with an open surface with software-controlled dosing and leveling mechanisms. The proposed design allows the use of typical 3D printing software with minimal modifications, facilitating integration and control. A technical implementation of the powder dispensing module is described, including stepper motors, an Arduino microcontroller, and a C# user interface. A layer formation algorithm is developed to ensure that mechanical damage to the part is prevented due to the special motion of the platform. The results of pilot experiments on the creation of a volumetric metal object using a 100 W fiber laser are presented.

Keywords: selective laser melting (SLM), 3D metal printing, additive technologies, laser control, 3D prototyping.

SLM-3D ПРИНТЕРІНІҢ ПРОТОТИПІН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНЕ АРНАЛҒАН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАСАҚТАМАНЫ KLIPPER FIRMWARE НЕГІЗІНДЕ ДАМЫТУ

[1]А.Д. Тулегулов, [1]Н.С. Смакова✉, [1]К.М. Акишев, [1]Ж.Х. Жантлесов, [1]Б.А. Серимбетов, [1]А.Д. Мусабаев, [2]А. Штеренхарц

[1]Қ.Құлажанова атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Берлин техникалық университеті, Берлин, Германия,
e-mail: nuri_5@mail.ru

Бұл мақалада күрделі ұнтақ беру жүйесін бағдарламалық басқарылатын мөлшерлеу және тегістеу механизмдері бар ашық бетпен ауыстыру арқылы технологияны арзандатуға бағытталған зертханалық селективті лазерлік балқыту (SLM) қондырғысын жасау сипатталады. Ұсынылған құрылым типтік 3D басып шығару бағдарламалық жасақтамасын аз ғана өзгерістермен пайдалануға мүмкіндік береді, бұл интеграция мен басқаруды жеңілдетеді. Ұнтақ таратқыш модульдің техникалық іске асырылуы сипатталған, оған қадамдық қозғалтқыштар, Arduino микроконтроллері және C# тіліндегі пайдаланушы интерфейсі кіреді. Платформаның арнайы қозғалысына байланысты бөлшектің механикалық зақымдануын болдырмайтын қабат қалыптастыру алгоритмі жасалды.100 Вт қуатты талшықты лазерді пайдалану арқылы көлемді металл бұйымын жасау бойынша пилоттық тәжірибелер нәтижелері келтірілген.

Түйін сөздер: селективті лазерлік балқыту (SLM), 3D металл басып шығару, аддитивті технологиялар, лазерлік басқару, 3D прототиптеу.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОТОТИПОМ SLM-3Д ПРИНТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ-ПРОШИВКИ KLIPPER

[1]А.Д. Тулегулов, [1]Н.С. Смакова✉, [1]К.М. Акишев, [1]Ж.Х. Жантлесов, [1]Б.А. Серимбетов, [1]А.Д. Мусабаев, [2]А. Штеренхарц

[1]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[2]Берлинский технический университет, Берлин, Германия,
e-mail: nuri_5@mail.ru

В статье представлена разработка упрощённой лабораторной установки селективного лазерного плавления (SLM), направленной на удешевление технологии за счёт замены сложной системы подачи порошка на открытую поверхность с программно управляемыми механизмами дозирования и разравнивания. Предложенный конструктив позволяет использовать типовое программное обеспечение 3D-печати с минимальными модификациями, облегчая интеграцию и управление. Описана техническая реализация модуля распределения порошка, включающая шаговые двигатели, микроконтроллер Arduino и пользовательский интерфейс на C#. Разработан алгоритм формирования слоя, обеспечивающий предотвращение механических повреждений детали за счёт особого движения платформы. Представлены результаты пилотных экспериментов по созданию объёмного металлического объекта с использованием волоконного лазера мощностью 100 Вт.

Ключевые слова: selective laser melting (SLM), 3D-печать металлом, аддитивные технологии, лазерное управление;,3Д - прототипирование.

Introduction. Selective laser melting (SLM) is an additive technology based on layer-by-layer sintering of metal powder using high-power laser irradiation. The process is carried out in a controlled atmosphere (most commonly argon or nitrogen) to prevent oxidation of the melt.

The development of digital technologies has made it possible to create additive facilities for printing complex parts made of plastic and metals [1]. One of the most precise methods is Selective Laser Melting (SLM), which is widely used in scientific and experimental developments [2]. The main disadvantage of SLM is its high cost associated with the use of complex powder feeding mechanics [3]. To reduce its cost, an alternative approach is proposed: formation of a powder layer on an open surface without feed cylinders. This simplifies the design, reduces the price and increases reliability (Figure 1).

The proposed design approach ensures compatibility with typical firmware and software used for 3D printing metal powder models. This simplifies system customization and reduces the requirements for control electronics development. At the same time, the introduction of additional mechanisms for powder distribution and alignment has led to the emergence of new moving elements, the functionality of which is not supported by standard firmware. This requires the development or modification of control algorithms taking into account the kinematics of auxiliary units.

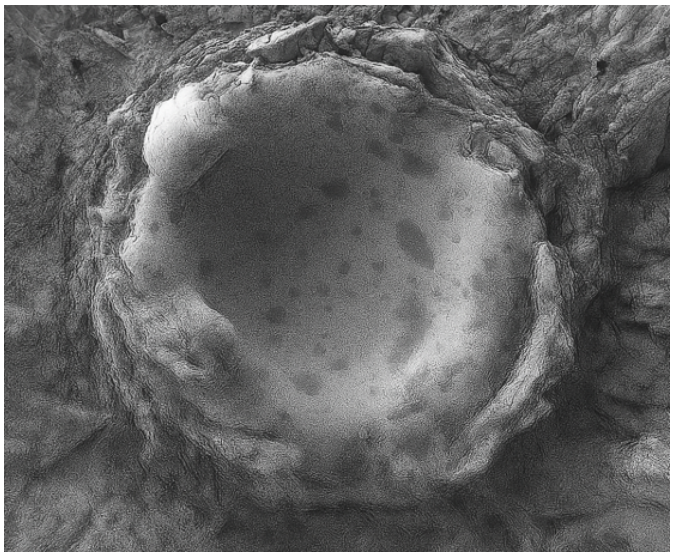


Fig.1 - Microphotograph of a crater formed by a laser pulse on the surface of iron powder

The physical and logical similarity of extrusion and laser melting processes makes it possible to use existing firmware, modifying it through macros, redistribution of G-code commands, and reconfiguration to replace the extruder with a laser module [4,5].

One of the design and technological difficulties of realization of the process of selective laser melting is the necessity of coordinated movement of the working platform during powder feeding and alignment. In the process of powder distribution, the platform with the printing area must be lowered to a predetermined value corresponding to the layer thickness. However, in order to perform the powder leveling operation, the platform must be temporarily returned to the initial position.

This operation is due to the physics of the melting process: when exposed to laser radiation, a crater is formed with a depression in the molten zone and elevation at the edges, reaching a height of 0.1 to 0.5 mm, depending on the shape and size of the powder (Figure 2).

The rigid walls of the powder distribution mechanism can collide with protruding fragments of the formed part, leading to the risk of mechanical damage to the product and premature failure of the distribution device [6,7].

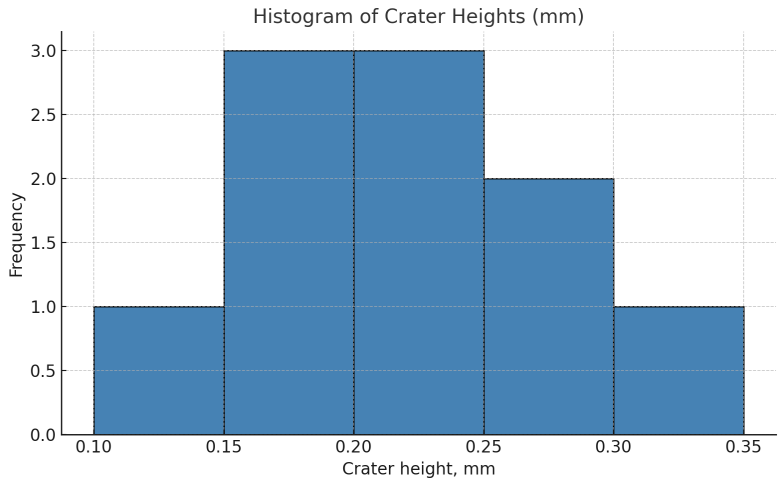


Fig.2 - Histogram of crater heights formed during laser melting

Experimental data shows a typical distribution of crater elevations, confirming the need to compensate for mechanical collisions by adjusting the platform position.

To exclude this effect, a technical solution, the algorithm of powder layer formation is proposed, which consists of the following [8]:

1 - lowering the printing platform by two heights of the printing layer;

2 - powder distribution on the printing surface;

3 - raising the printing platform by one height of the printing layer;

4 - leveling the powder surface with an elastic scraper.

Realization of cyclic movement of the working platform within one layer allows to compensate these effects and ensure stable operation of the mechanism while maintaining the geometric accuracy of the product. As a result of the implementation of the above-mentioned technical solution, the complete operating cycle of the additive installation includes the following stages:

1) application of a uniform layer of metal powder on the working platform;

2) selective melting of the material by laser beam according to the trajectory specified in the 3D-model layer;

3) Parking of the laser module - closing of the

limit switch

4) Start of the powder layer formation algorithm and cycle repetition.

Materials and methods. Currently, pilot experiments are being conducted to control the process of selective laser melting [9].

Extensive work is to be done to determine the optimal parameters of laser melting of metal powder. In this regard, the control of the process of selective laser melting at the current stage is carried out in manual mode.

For experimental studies, a laboratory setup including a software and hardware module for distribution and leveling of metal powder and a laser system based on a 100 W fiber marker (Figure 3) has been developed [10].

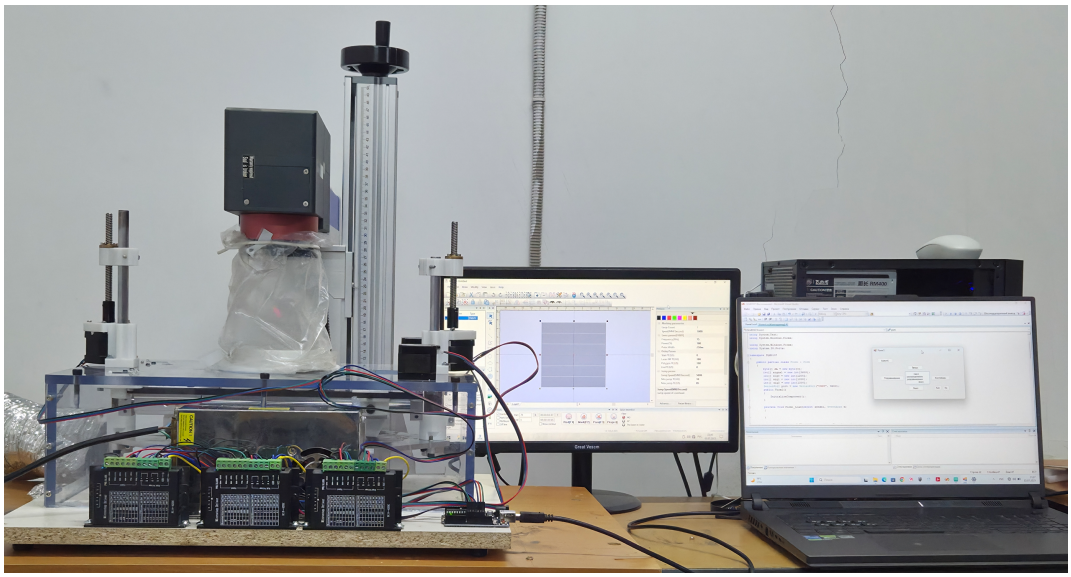


Fig.3 - Photograph of experimental additive installation of selective laser melting of metal powders

The software and hardware module of metal powder distribution and leveling is a sealed working chamber made of monolithic polycarbonate, inside of which there is a complex of mechanical and digital components that ensure the movement of the open platform, as well as the functioning of the systems of dosing and leveling of powder material.

The metal powder distribution system is realized in the form of a loading container, into which the powder material is loaded before the start of the experiment. In the lower part of the container there is a technological hole (slit) through which the powder enters the open surface. The spreader is moved by means of a linear actuator controlled by a stepper motor.

The system of powder layer leveling is made in the form of a scraper from heat-resistant flexible polyurethane. The use of flexible material is justified by the need to adapt to the microroughnesses arising on the surface of molten metal under the influence of laser radiation, which allows minimizing the mechanical impact on the formed structure.

The mechanism of movement of the open surface is realized in the form of a platform made of aluminum alloy, which provides effective thermal dissipation and promotes accelerated cooling of the welded layer.

The whole system is connected to the laser module by means of a hermetic flexible channel, which allows to carry out the processes of dosing, leveling and laser processing in a single closed volume, protected from external influence.

To control the stepper motors, a digital circuit based on the Arduino Uno microcontroller was developed [11]. Data exchange with the control

computer is carried out through the USB interface, through which the microcontroller receives control commands via UART protocol to perform specified technical operations.

Specialized software on the Arduino IDE platform was developed for programming the microcontroller [12]. The implemented firmware is designed to control the actuators of the laboratory unit of selective laser sintering (SLM), including modules of powder dosing, layer leveling and moving the working platform.

Interaction with the microcontroller is carried out via serial interface (UART) with the reception of control commands from an external control system, such as a personal computer or microcontroller.

```
Initialization: setup()

The setup() function configures the digital pins:

Pins 8–13 are configured as outputs and are used to control the
direction of rotation and to supply pulses to the stepper motors.

Serial port with baudrate = 9600 baud is initialized.

pinMode(8,OUTPUT); // Dispenser direction

pinMode(9,OUTPUT); // Dispenser step

pinMode(10,OUTPUT); // Leveler direction

pinMode(11,OUTPUT); // Leveler step

pinMode(12,OUTPUT); // Lifting mechanism step

pinMode(13,OUTPUT); // Lifting direction

Main loop: loop()

In the main loop() loop, the program waits for 3 bytes of data to arrive
via Serial. Depending on the first byte, different commands are
executed:

Command (byte data{[}0{]}) Description of action

111 (’ o’) Start powder dispenser –
Konteaner()

112 (’ p’) Start leveling mechanism –
Ravnina()

113 (’ q’) Raise platform – Upp()

114 (’ r’) Lower platform – Down()

115 (’ s’) Combined command: lower
platform, dispense powder, level – Down(); Konteaner(); Ravnina();

116 (’ t’) Partial powder feed forward –
KNS()

117 (’ u’) Partial powder feed backward –
KNL()

Actuator control functions
```

```
Each function realizes a specific operation by controlling stepper
motors by supplying rectangular pulses to the corresponding pins
{[}13{]}.

Konteaner()

Powder feed:

Forward direction (pin 8 = HIGH).

Movement of 1700 steps (forward and backward).

Ravnina()

Leveling the layer:

Movement of the mechanism to the right (pin 10 = HIGH), then to the left
(pin 10 = LOW), 1700 steps each way.

Upp() / Down()

Raising or lowering the platform:

The direction is set at pin 13.

100 steps are taken at pin 12.

KNS() / KNL()

Partial powder feed to one side (forward or backward), 1000 steps.

DELAY(int SH) function
```

Table 1 - Powder layer formation cycle and corresponding UART commands

№	Process Stage	UART Command	Arduino Function	Description
1	Powder dispensing	111 (’o’)	Konteaner()	Feeds powder 1700 steps forward and backward
2	Surface leveling	112 (’p’)	Ravnina()	Moves scraper right and left (1700 steps)
3	Platform raising	113 (’q’)	Upp()	Raises platform by 100 steps
4	Platform lowering	114 (’r’)	Down()	Lowers platform by 100 steps
5	Full cycle	115 (’s’)	Down(); Konteaner(); Ravnina()	Executes full sequence for one layer

Represents a stub instead of a real delay - in this variant delay(0), which does not create a real waiting time. Apparently, it is intended to be modified to adjust the speed of stepper motors (it can be replaced by delayMicroseconds() for fine-tuning).

The developed program implements basic step-by-step control of actuators of the experimental unit

of selective laser sintering. Control commands are transmitted by a simple protocol through the serial interface UART, which provides compatibility and the possibility of integration with external control programs.

The control logic for powder dosing, platform movement, and leveling is summarized in Table 1.

To ensure the convenience of interaction with the software and hardware module of metal powder distribution and leveling, a specialized software in C# language was created. The program is a Windows Forms-application designed to control stepper motors driving the mechanisms of powder dosing, layer leveling and vertical positioning of the working platform as part of the SLM laboratory unit (see Figure 4).

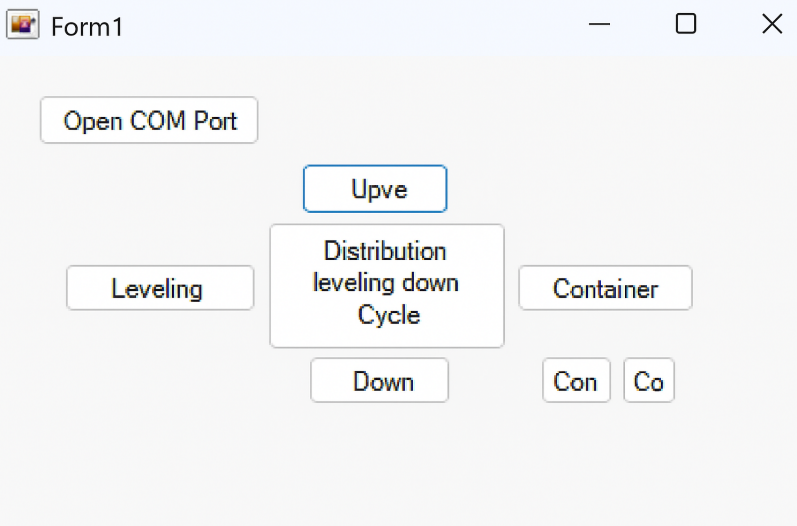


Fig.4 - Software interface for controlling software and hardware module for powder distribution and leveling

Interaction is carried out through a serial port (Serial, COM28), which sends control commands to a microcontroller (e.g., Arduino).

SerialPort port = new SerialPort("COM28", 9600); - the object of serial port at 9600 baud rate connected to Arduino is created.

byte[] AA = new byte[3]; - an array for transferring 3 bytes via control protocol (in fact, only the first byte is used).

Form1 contains several control buttons, each of which sends a command. Each button on the form corresponds to the Click event, which generates and sends a control command. The control logic is implemented by sending one byte in the AA[0] array and then "resetting" to 0 to complete the command:

Each command is sent in 2 steps:

AA[0] = < command code> → port.Write(AA, 0, 3);

AA[0] = 0 → port.Write(AA, 0, 3);

This provides a clear delineation of the command boundaries - first the activation signal is transmitted, then the zero command as a "completion flag" (or reset).

The program implements a simple and robust user interface for controlling the mechanics of the SLM machine in a laboratory environment. Through direct command control via UART, the operator can manually control the key steps: dispensing, leveling, platform raising/lowering, and test procedures.

Results and discussion. With the help of the developed experimental setup, pilot experiments on forming a 3D part by selective laser melting have been carried out.

Marking software was used to form the laser beam trajectory. The contour of a square with an

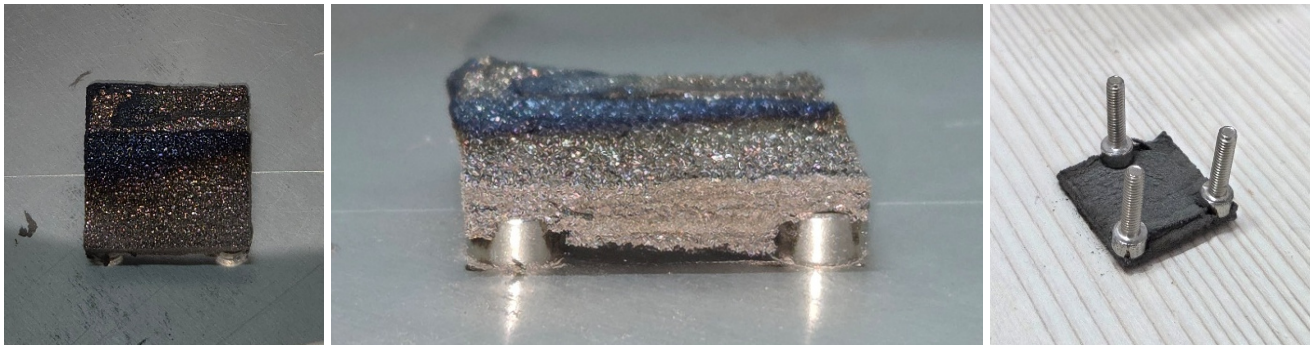
edge of 20 mm was used as a printing object (Table 2).

As a result of experimental studies, a parallelepiped with a base of 20x 20 mm and a height of 2 mm was synthesized (Figure 5).

Table 2 - Parameters of the pilot experiment

Parameter	Value
Laser type	100 W fiber laser
Object size	20 × 20 × 2 mm
Scanning speed	Not specified
Number of layers	Not specified
Layer thickness	Estimated ~0.1–0.2 mm

The figure below summarizes the main parameters of the SLM process used during the pilot test.



Top view ***Side view*** ***View of the part removed from the platform***

Fig.5 - Results of pilot experiments obtained at the additive unit of selective laser

Test prints confirmed the performance of the system: several layers were successfully fused.

Conclusion. The conducted research confirmed the feasibility of developing a low-cost laboratory setup for Selective Laser Melting (SLM) with an open powder delivery system and software-controlled leveling mechanisms. Integration of widely available firmware platforms, such as Klipper and Arduino, with custom hardware components ensures reliable powder feeding, surface leveling, and platform movement within a compact and sealed environment.

The proposed control algorithm, which involves cyclic movement of the platform, eliminates crater formation on the surface layer, thereby enhancing mechanical stability of the printed object and reducing wear of the equipment. The custom-developed C# software provides an intuitive user interface for manual operation and laboratory testing.

Pilot experiments using a 100 W fiber laser confirmed the system’s functionality and its potential for further optimization. Future developments will focus on automating the laser control process, refining melting parameters, and implementing a closed-loop control system with feedback.

The developed system can be effectively used in educational and research laboratories for training and experimenting with metal powder 3D printing

technologies. This is particularly relevant for countries aiming to strengthen technological independence and develop their own engineering infrastructure.

The novelty of the research lies in the adaptation of standard 3D printer control components to address the specific challenges of metal powder laser sintering. This approach significantly reduces equipment cost while maintaining essential functionality, thus expanding the practical applicability of additive manufacturing in resource-limited settings.

Further work will include the integration of a machine vision module for powder layer quality monitoring, implementation of an automatic platform calibration function, and extended interfacing with external modeling and control systems.

Prospects for Further Development. The current prototype of the SLM system has demonstrated the feasibility of using open powder distribution and leveling mechanisms combined with software-controlled automation. However, several directions for further improvement remain relevant for increasing system efficiency, precision, and integration into broader manufacturing workflows.

First, the integration of machine vision systems is considered a priority. Real-time image processing can be used to assess powder bed quality, detect defects, and ensure proper alignment of each layer before laser exposure. This feedback will enable a closed-loop control system that can automatically halt or adjust printing parameters when inconsistencies are detected.

Second, automated platform calibration would enhance system reproducibility and minimize human error. A software-controlled homing and alignment protocol using optical or inductive sensors could ensure proper Z-axis positioning before and during the build process.

Third, expansion of the user interface functionality is planned. The current interface enables manual control and basic operation. Future iterations may include automatic slicing integration, G-code preprocessing tools, and detailed process logging, enabling researchers to analyze build quality over time.

Additionally, extending the system to support multi-material capabilities or controlled atmosphere integration (e.g., argon or nitrogen chambers) may significantly broaden the applicability of the installation for more advanced metal alloys and sensitive materials.

Finally, collaboration with educational institutions will allow the SLM platform to be used in academic training programs, where students can gain hands-on experience with digital manufacturing, firmware development, and industrial automation.

Funding: *The article was published within the framework of the scientific project of grant funding for 2024-2026 IRN AP23490424 “Development of additive installation for the creation of metal objects for the defense industry” (the research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan).*

Литература

1. Тулегулов А., Акишев К., Жантлесов Ж., Джумагалиева А., Дуйсебаев И. Аддитивті өндірісте cad және cae ақпараттық технологияларды қолдану //Вестник КазУТБ.-2025.-№ 2(27).-С.139-147. DOI 10.58805/kazutb.v.2.27-978.

2. Kruth J.P., Levy G., Klocke F., Childs T.H.C. Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layered manufacturing//CIRP Annals.- 2007. -Vol.56(2). -P.730-759. DOI 10.1016/j.cirp.2007.10.004.

3. Frazier W.E. Metal additive manufacturing: a review // Journal of Materials Engineering and Performance. -2014.-Vol.23(6).- P.19171928. DOI 10.1007/s11665-014-0958-z.

4. Руктуев А. А., Лазуренко Д. В., Колубаев Е. А., Огнева Т. С., Малютина Ю. Н. Технологии аддитивного производства: учебное пособие. -Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет. -2023. -99 с. ISBN 978-5-7782-4892-2.

5. Marlin Firmware. Documentation on firmware modification for 3D printers. – URL: https://marlinfw.org/. - Дата обращения: 30.05.2025.6.Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino/Санкт-Петербург: БХВ-Петербург. -2012. -256 с.: ил. - (Электроника). - ISBN 978-5-9775-0727-1.

7. Microsoft Docs. SerialPort Class (System.IO.Ports). URL: https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.io.ports.serialport. -Дата обращения: 30.05.2025.

8. Nascimento E., Nguyen-Duc A., Sundbø I., Conte T. Software engineering for artificial intelligence and machine learning software: A systematic literature review// Journal of System and Software. -2020. DOI 10.48550/arXiv.2011.03751.

9. Zhao C., Shi B., Chen S., Du D., Sun T., Simonds B. J., Fezzaa K., Rollett A. D. Laser melting modes in metal powder bed fusion additive manufacturing // Reviews of Modern Physics. - 2022. -Vol.94(4): 045002. DOI 10.1103/RevModPhys.94.045002.

10. Ladani L. Process Parameter Optimization in Metal Laser-Based Additive Manufacturing // Metals.- 2022. -Vol.12 (1): 87. DOI 10.3390/met12010087.

11. Arduino Documentation. – URL: https://www.arduino.cc/reference/en/.- Дата обращения: 30.05.2025.

12. Singla A.K., Sharma N., Gupta M.K., Pruncu C.I., Pimenov D.Y., Kapłonek W., Sharma V.S. Selective laser melting of Ti6Al4V alloy: Process parameters, defects and post-treatments//Journal of Manufacturing Processes. -2021. -Vol.64. -P.161-187. DOI 10.1016/j.jmapro.2021.01.009.

13. Avrampos P., Vosniakos G.- C. A review of powder deposition in additive manufacturing by powder bed fusion // Journal of Manufacturing Processes. -2022. -Vol.74. -P.332–352. DOI 10.1016/j.jmapro.2021.12.021.

References

1. Tulegulov A., Akishev K., Zhantlesov Zh., Dzhumagalieva A., Dujsebaev I. Additivti өndiriste cad zhәne cae ақparattyқ tehnologijalardy қoldanu //Vestnik KazUTB.-2025.-№ 2(27).-S.139-147. DOI 10.58805/kazutb.v.2.27-978.[in Kazakh]

2. Kruth J.P., Levy G., Klocke F., Childs T.H.C. Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layered manufacturing//CIRP Annals.- 2007. -Vol.56(2). -P.730-759. DOI 10.1016/j.cirp.2007.10.004.

3. Frazier W.E. Metal additive manufacturing: a review // Journal of Materials Engineering and Performance. -2014.-Vol.23(6).- P.19171928. DOI 10.1007/s11665-014-0958-z.

4. Ruktuev A. A., Lazurenko D. V., Kolubaev E. A., Ogneva T. S., Maljutina Ju. N. Tehnologii additivnogo proizvodstva: uchebnoe posobie. -Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj tehnicheskij universitet. -2023. -99 s. ISBN 978-5-7782-4892-2.[in Russian]

5. Marlin Firmware. Documentation on firmware modification for 3D printers. - URL: https://marlinfw.org/. - Data obrashhenija: 30.05.2025.

7. Microsoft Docs. SerialPort Class (System.IO.Ports). URL: https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.io.ports.serialport. - Date of access: 30.05.2025.

8. Nascimento E., Nguyen-Duc A., Sundbø I., Conte T. Software engineering for artificial intelligence

and machine learning software: A systematic literature review// Journal of System and Software. -2020. DOI 10.48550/arXiv.2011.03751.

8. Nascimento E., Nguyen-Duc A., Sundbø I., Conte T. Software engineering for artificial intelligence and machine learning software: A systematic literature review// Journal of System and Software. -2020. DOI 10.48550/arXiv.2011.03751.

9. Zhao C., Shi B., Chen S., Du D., Sun T., Simonds B. J., Fezzaa K., Rollett A. D. Laser melting modes in metal powder bed fusion additive manufacturing // Reviews of Modern Physics. - 2022. -Vol.94(4): 045002. DOI 10.1103/RevModPhys.94.045002.

10. Ladani L. Process Parameter Optimization in Metal Laser-Based Additive Manufacturing // Metals.- 2022. -Vol.12 (1): 87. DOI 10.3390/met12010087.

11. Arduino Documentation. – URL: https://www.arduino.cc/reference/en/.- Date of access: 30.05.2025.

12. Singla A.K., Sharma N., Gupta M.K., Pruncu C.I., Pimenov D.Y., Kapłonek W., Sharma V.S. Selective laser melting of Ti6Al4V alloy: Process parameters, defects and post-treatments//Journal of Manufacturing Processes. -2021. -Vol.64. -P.161-187. DOI 10.1016/j.jmapro.2021.01.009.

13. Avrampos P., Vosniakos G.- C. A review of powder deposition in additive manufacturing by powder bed fusion // Journal of Manufacturing Processes. -2022. -Vol.74. -P.332–352. DOI 10.1016/j.jmapro.2021.12.021.

Information about authors

Tulegulov A.- Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: tud62@yandex.ru;

Smakova N. - PhD, associate Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: nuri_5@mail.ru;

Akishev K.A. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail:akmail04@mail.ru;

Zhantlesov Zh.H. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: jangabil@mail.ru;

Serimbetov B.A.- Candidate of Technical Sciences, ass.prof., K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: sba_rnmc@mail.ru;

Musabaev A.D. - Master, engineer, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: mussabayevazamat@gmail.com;

Arnold Sterenhartz- Doctor of Technical Sciences, Professor, Berlin, Germany, e-mail: shteren@mail.ru.

Информация об авторах

Тулегулов А.- к.ф.-м.н., ассоц. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажвнова, Астана, Казахстан, e-mail: tud62@yandex.ru;

Смакова Н.С. - PhD, ассоц. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: nuri_5@mail.ru;

Акишев К.М.- к.т.н., ассоц. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: akmail04@mail.ru;

Жантлесов Ж.Х. - к.ф.-м.н., Доцент, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан: e-mail: jangabil@mail.ru;

Серимбетов Б.А. - к.т.н., ассоц. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: sba_rnmc@mail.ru;

Мусабаев А.Д.- магистр, инженер кафедры «Информационные системы», Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан: e-mail: mussabayevazamat@gmail.com;

Штеренхарц Арнольд, доктор технических наук, профессор, Берлин, Германия, e-mail: shteren@mail.ru.

IRSTI 61.01.91 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1045**

DETERMINATION OF THE TOXICITY OF AQUEOUS EXTRACT FROM WASTE PROCESSING OF PHOSPHATE RAW MATERIALS USING BIOTESTING ON HYDROBIONTS

[1]N.V. Seraya, [2]V.V. Litvinov, [1]G.K. Daumova✉, [3,4]M.A. Yelubay, [5]E.A. Kulmagambetova, [6]M. Woszczyk

[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]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,
[6]Adam Mickiewicz University, Poznań, Poland
✉*Correspondent-author: gulzhan.daumova@mail.ru*

The biotesting method was used to assess the individual and combined effects of waste from the production of phosphate raw materials at the designed chemical complex of the EuroChem-Karatau company (Republic of Kazakhstan). The goal of the study was to determine the hazard class of waste from the production of phosphate raw materials using biotesting method. Experimental study was carried out on test organisms: Daphnia magna Straus freshwater planktonic crustaceans. It has been established that Daphnia magna is sensitive to waste from the processing of phosphate raw materials, and the samples under study belong to practically non-hazardous and low-hazard waste with the possibility of processing for the purpose of their further use. On hydrobionts, water extracts without dilution from a mixture of waste module CCP + cake module 1A (1:1), cake module 1A and synthetic gypsum did not have an inhibitory effect. An ecological and toxicological study confirmed that the studied samples belong to the fifth class of environmental hazard (virtually non-hazardous). For the aqueous extract from the waste of the CCP module without its dilution, inhibition of the viability of aquatic organisms was revealed. The death of Daphnia may be associated with waste components that cause blockage of the respiratory tract with dispersed particles. It was revealed that with increasing dilution, the mortality rate of Daphnia decreases; the 10-times dilution ratio had no effect on hydrobionts.

Keywords bio-testing, toxicity, hazardous industrial waste, hazard class, Daphnia magna Straus.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ МЕТОДОМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ НА ГИДРОБИОНТАХ

[1]Н.В. Серая, [2]В.В. Литвинов, [1]Г.К. Даумова✉, [3,4]М.А. Елубай, [5]Э.А. Кульмагамбетова, [6]M. Woszczyk

[1]Восточно-Казахстанский технический университет им. 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]Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан,
[6]Университет имени Адама Мицкевича, Познань, Польша,
e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru

Метод биотестирования впервые использован при оценке отдельного и комбинированного воздействия отходов производства фосфатного сырья проектируемого химического комплекса компании ЕвроХим-Каратау (Республика Казахстан). Цель работы состояла в определении класса опасности отходов производства фосфатного сырья с помощью методов биотестирования. Экспериментальную работу проводили на тест-организмах: пресноводных планктонных рачках Daphnia magna Straus. Установлено, что Daphnia magna чувствительны к отходам переработки фосфатного сырья, а исследуемые образцы относятся к практически неопасным и малоопасным отходам с возможностью переработки с целью их дальнейшего применения. На гидробионты водные вытяжки без ее

разведения из смеси отхода модуля ССР + кек модуля 1А (1:1), кека модуля 1А и гипса синтетического не оказывают угнетающего эффекта. Эколого-токсикологическое исследование подтвердило, что исследованные образцы относятся к пятому классу опасности для окружающей среды (практически неопасные). Для водной вытяжки из отхода модуля ССР без ее разведения выявлено угнетение жизнеспособности гидробионтов. Гибель дафний, возможно, связана с компонентами отхода, которые вызывают закупорки дыхательных путей дисперсными частицами. Выявлено, что при увеличении разведения смертность дафний понижается, установлена кратность разведения водной вытяжки (в 10 раз), при которой не выявлено воздействие на гидробионты.

Ключевые слова: биотестирование, токсичность, опасные промышленные отходы, класс опасности, Daphnia magna Straus.

ГИДРОБИОНТТАРДА БИОТЕСТІЛЕУ ӘДІСІМЕН ФОСФАТ ШИКІЗАТЫН ҚАЙТА ӨҢДЕУ ҚАЛДЫҚТАРЫНАН СУ СЫҒЫНДЫСЫНЫҢ УЫТТЫЛЫҒЫН АНЫҚТАУ

[1]Н.В. Серая, [2]В.В. Литвинов, [1]Г.К. Даумова✉, [3,4]М.А. Елубай, [5]Э.А. Кульмагамбетова, [6]M. Woszczyk

[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]Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан,
[6]Адам Мицкевич университеті, Познань, Польша,
e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru

Биотестілеу әдісі алғаш рет ЕвроХим-Қаратау компаниясының (Қазақстан Республикасы) жобаланатын химиялық кешенінің фосфат шикізатын өндіру қалдықтарының жеке және аралас әсерін бағалау кезінде пайдаланылды. Жұмыстың мақсаты биотестілеу әдістерін қолдана отырып, фосфат шикізатын өндіру қалдықтарының қауіптілік класын анықтау болды. Эксперименттік жұмыс тест-ағзаларда жүргізілді: тұщы су планктонды Daphnia magna Straus шаян тәрізділер. Daphnia magna фосфат шикізатын қайта өңдеу қалдықтарына сезімтал екендігі анықталды, ал зерттелетін үлгілер оларды әрі қарай қолдану мақсатында қайта өңдеу мүмкіндігімен іс жүзінде қауіпсіз және қауіптілігі төмен қалдықтарға жатады. Гидробионттарға ССР+1А (1:1) кек модулінің, 1А кек модулінің қалдықтарынан және синтетикалық гипстің қоспасынан сұйылтылмаған су сығындылары әсер етпейді. Экологиялық-токсикологиялық зерттеу зерттелген үлгілердің қоршаған ортаға қауіптіліктің бесінші класына жататынын растады (іс жүзінде қауіпті емес). ССР модулінің қалдықтарынан оны өсірусіз су сығындлары үшін гидробионттардың өміршеңдігінің тежелуі анықталды. Дафнияның өлімі тыныс алу жолдарының дисперсті бөлшектермен бітелуіне әкелетін қалдықтардың құрамдас бөліктерімен байланысты болуы мүмкін. Өсіруді көбейткен кезде дафнияның өлімі төмендейтіні, гидробионттарға әсері болмайтын су сығындысының сұйылту жиілігі (10 есе) анықталды.

Түйін сөздер: биотестілеу, уыттылық, қауіпті өндірістік қалдықтар, қауіптілік класы, Daphnia magna Straus.

Introduction. In world practice, biotesting methods are widely used to assess the toxicity of water pollution [1]. The use of these methods has a number of advantages over physicochemical analysis, which often does not allow the detection of unstable compounds or the quantification of ultra-low concentrations of toxic substances, as well as taking into account their combined effects. Biotesting allows to quickly obtain an integral assessment of toxicity at a certain point in time [2].

Traditional, frequently used test objects for monitoring the toxicity of various objects are Cladocera - small planktonic crustaceans, one of the most numerous and diverse orders of the

Branchiopoda class. Well-known representatives of the order, Daphnia freshwater planktonic crustaceans (Daphnia magna Straus), are among the most sensitive test organisms and are considered the basic object of biotesting [3, 4].

For example, planktonic crustaceans (Daphnia magna Straus) were used as a test organism for biotesting of quarry waters in [5]. When studying quarry waters using D. magna test organisms, the number of deaths in the tested Daphnia samples did not exceed 10%, which indicated the absence of a toxic effect. The tested culture of Ch.Vulgaris had a higher sensitivity, however, when the tested samples were diluted 3 times, the toxicity criterion was not exceeded. The calculated values of the dilution coefficient with toxic substances made it possible to rank the water bodies under consideration in increasing order of the possible toxic impact of their waters: Inkerman Quarry Lake, Gasfortskoye Quarry Lake and Kadykovskoye Quarry Lake. However, already with a 3-fold dilution, the tested samples from all reservoirs became completely harmless.

Another work, [6], developed methodological approaches to rapid assessment of the environment, as well as the toxicity of its components in the process of biological monitoring at hazardous industrial facilities. The following biotest objects were used: daphnia (Daphnia magna Straus), ceriodaphnia (Ceriodaphnia affinis Lilljeborg), ciliates (Paramecium caudatum), a preparation of lyophilized luminescent bacteria ”Ecolum” based on a recombinant Escherichia strain coli M-17, algae (Chlorella vulgaris Beijer, Scenedesmus quadri cauda (Turp.) Breb.), mammalian germ cells; environmental objects: natural water, bottom sediments, soil samples taken in the sanitary protection zone (SPZ) of the Balakovo region and a nuclear power plant in the Saratov region. The toxicity of samples of bottom sediments, soil, as well as water samples from the cooling pond and the adjacent water area of the Saratov reservoir was revealed.

Bioanalysis has also been successfully used to determine the hazard of pollution of environmental objects with oil and waste from the oil refining industry containing petroleum hydrocarbons, represented by persistent organic pollutants (POPs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) [7]. The ecotoxicological study used the test culture Daphnia magna Straus - a sensitive test organism that reacts to the presence of petroleum products of various fractions and mass concentrations in water. When conducting biotesting, the work took into account specific methodological nuances: the death of daphnia in the aqueous extract from waste, established within 48 hours, did not exceed 10%, but the morphological state of the tested object indicated a significant negative impact: daphnia individuals are smaller than in the control test, their trophic activity is minimal, and only longer exposure (96 hours) led to the death of the test organism. It has been established that biotesting, in this case, remains a mandatory method for determining total toxicity.

The authors of [8] carried out an environmental and toxicological assessment of the waste generated as a result of protein production by growing Hermetia illucens fly larvae and determined the hazard class of zoocompost using biotesting methods. The hazard class was determined by the dilution coefficient of the aqueous extract, at which no harmful effect on the test objects was detected. To study the toxicity of zoocompost, the species of lower crustacean Daphnia magna Straus were used. As a result of the experiments, the dilution ratio of zoocompost extracts was established (equal to 10), at which the death of daphnia was not observed, therefore, the waste under study was classified as hazard class 4.

An ecotoxicological assessment of six drill cuttings (waste from the oil industry) using certified methods of contact and eluate biotesting using test organisms of different trophic levels was carried out in [9]. Biotesting carried out on Daphnia magna Straus showed that aqueous extracts from all samples of drill cuttings did not have an inhibitory effect on these organisms.

The authors of [10] studied the soil of a quarry in the Neva Lowland, reclaimed using loamy soil and municipal solid waste. When conducting biotesting of aqueous extracts of soil samples, the presence of

acute toxicity was established at one of the studied sites. The presence of chronic toxicity in water extracts was identified at all sites.

In [11], the soils of agricultural lands and nearby reservoirs of the Prokhorovsky district of the Belgorod region were studied. Watercress Lepidium sativum and crustacean Daphnia magna Straus were used as a bioindicator. According to the results of biotesting, the water in reservoirs adjacent to agricultural land corresponds to hazard class II, the "slightly polluted" category. It was revealed that the soils of agricultural lands of the holding have initial manifestations of toxic effects.

The toxicity of ash and slag waste obtained after burning coal at power plants was determined experimentally using test organisms [4]. When analyzing the toxicity of the ash and slag mixture after burning the culm of the Donetsk deposit (Russia), an acute toxic effect of aqueous extract from waste on the test organisms Daphnia magna Straus and the weed Scenedesmus guadricauda was revealed. A non-hazardous dilution factor for the water extract from waste was revealed, causing the death of no more than 10% of daphnia in 96 hours and a deviation in the number of weeds by no more than 20% in 72 hours compared to the control value. Ash and slag waste was classified as waste of III-IV environmental hazard class.

The influence of fluoropolymer production wastewater on test objects of different systematic groups was studied in [12]. Toxicity assessment was carried out by tetrazole-topographic, anaphase-metaphase analysis methods and micronuclear test of micropreparations. It has been established that the germination of white mustard seeds (Sinapis alba L.), the survival of Daphnia Magna Straus and cyanobacteria (Nostoc paludosum Kutz) are reduced under the influence of fluoropolymer production wastewater with a decrease in the dilution ratio. In Scots pine (Pinus sylvestris L.), mitotic activity decreases, and the proportion of cytogenetic disorders increases with a decrease in the degree of dilution of the test solution. The negative impact of fluoropolymer production wastewater on biota and the need for disposal, excluding discharge into the environment, have been determined.

Thus, biotesting methods make it possible to assess the biological usefulness of the studied water bodies, their suitability for the life of aquatic organisms that ensure self-purification processes in the reservoir and biological oxidation during wastewater treatment [13]. The results of biotesting for toxicity make it possible to quickly determine the dangerous effects of chemical pollution on the life of aquatic organisms, not by individual components, but by their mixtures, often of unknown nature and not detected by other methods of analyzing toxic substances.

Toxic effects recorded by biotesting methods include complex, synergistic, antagonistic and additional effects of all chemical, physiological and biological components present in the test water, adversely affecting the physiological, biochemical and genetic functions of the test organisms. As a result of the laboratory biotesting procedure using classical methods, the acute or chronic toxicity of the test water is established in experiments of various durations. Acute toxicity is expressed when the intensity of the acting agent is so great that the body's compensatory and adaptive reactions do not have time to manifest themselves, and it dies. Chronic toxicity is determined by intense but longer exposure to toxicants; in this case, an imbalance occurs between the decay and synthesis of substances in the body of aquatic organisms, the destruction of the genome and the cessation of reproduction. Based on the data from the experiments, an acutely lethal concentration of the substance (or the dilution factor of the test water) is established, at which the death of organisms does not exceed that in the control.

Materials and methods. Determination of the toxicity of aqueous extract by biotesting on hydrobionts was carried out for samples of waste from the processing of phosphate raw materials in the production of simple superphosphate (SSP), obtained by processing by hydrochloric acid decomposition of phosphorites at a semi-industrial Technophos installation (Technophos, Prayon Technophos EAD, Devnya, Bulgaria) for the projected production plant of mineral fertilizers

at EuroChem-Karatau (Kazakhstan).

EuroChem-Karatau chemical complex for processing phosphates is designed for processing phosphate rock to produce dicalcium phosphate (calcium hydrogen phosphate dihydride). The production of dicalcium phosphate consists of the following main technological stages:

1) Processing of phosphorite raw materials by a solution of hydrochloric acid with the transfer of the valuable component into a soluble state in the form of a product solution and the production of a solid residue, which is a technology waste (Module 1A);

2) Treatment of the product solution with ground limestone with precipitation of dicalcium phosphate and drying of the resulting product DCP (dicalcium phosphate) and obtaining a solution of calcium chloride (Module 1B);

3) Treatment of the calcium chloride solution with slaked lime with the precipitation of magnesium, aluminum and iron impurities into the hydrate cake and obtaining a purified calcium chloride solution (CCP module), which is removed from the process for further processing;

4) Treatment of part of the calcium chloride solution with sulfuric acid to obtain a regenerated hydrochloric acid solution and gypsum precipitate (Module 4).

In this study, the toxicity assessment was carried out based on the potential danger to aquatic organisms of the following waste from the processing of phosphate raw materials:

- Sample No.1 – cake of Module 1A;

- Sample No.2 - synthetic gypsum;

- Sample No.3 - waste of the CCP module - magnesium hydroxide;

- Sample No.4 - cake of the Module 1A and waste of module CCP (mixture 1:1) (Figure 1).



Fig.1 – Initial samples of the phosphate raw material processing waste

When conducting these studies, an aquatic laboratory culture of Daphnia magna of 1-day age was used

as a test object (Figure 2).



Fig.2 - Daphnia magna

The studies were carried out in accordance with ST RK 17.1.4.01-95 [14] standard and the Methodological Guide for Biotesting of Water [15]. We used a method for determining the toxicity of water and aqueous extracts from soils, sewage sludge, waste by mortality and changes in the fertility of daphnia.

The survival rate of test objects is the average number of daphnia that survived in the tested extracts and in the control over a certain time. The criterion for acute toxicity of the test sample (DL_{50}) is the death of 50 percent or more of the daphnia in the analyzed water sample compared to the control during the biotesting period (48 hours). If the result is more than 50% death of individuals, the test sample is considered toxic. The calculation of dead daphnia in the test water sample in comparison with the control is calculated using the formula [13]:

$$A = \frac{(X_c - X_t)}{X_c} \cdot 100,\ \% \qquad (1)$$

where $X_c$is the arithmetic mean number of daphnia that survived in the control sample;

X_t– arithmetic mean number of daphnia surviving in the tested water.

Experimental. To obtain ready-made samples during the study, before starting the tests, the initial samples were air-dried, then crushed and sifted through a 1-mm sieve.

At the next stage, the moisture content of all studied samples was determined. The moisture content of the samples was: CCP module – 12%, cake of module 1A – 2%, synthetic gypsum – 3%, CCP module waste + cake of module 1A mixture (1:1) – 7%. A certain moisture characteristic was used to calculate the mass of an air-dry sample intended for preparing an aqueous extract.

Water-soluble compounds were extracted from the samples using dechlorinated tap water taken in a solid-to-liquid ratio of 1:10 (by weight). Aqueous extracts from phosphate raw material processing waste were prepared in the following ratio:

- 88 g of air-dried sample (waste of the CCP module) and 880 cm^3 of cultivation water;

- 98 g of air-dried sample (module 1A cake) and 980 cm^3 of cultivation water;

- 97 g of air-dried sample (synthetic gypsum) and 970 cm^3 of cultivation water;

- 93 g of air-dried sample (mixture (1:1) of CCP module waste + cake of module 1A) and 930 cm^3 of cultivation water.

Stirring of the prepared suspensions was carried out for 7 hours. Then the suspensions settled for 15-20 minutes.

The resulting aqueous extracts from samples of phosphate raw material processing waste were filtered through a “white ribbon” filter on a Buchner funnel. A weak vacuum was used for filtration using an electric pump. The resulting leach extract was tested for toxicity.

The biotesting procedure (determination of acute toxicity) was carried out for the test samples under the conditions specified in Table 1.

Using a 2-cm^3 glass pipette with a cut off and melted end, 10 specimens of daphnia at the age of 24 hours were transplanted into a glass and transferred into beakers with analyzed and cultivation water using a plankton net or a Pasteur pipette, the liquid was sucked out of the glass and the measured

volume of test water was added carefully not to damage the daphnia.

For testing, 100 cm^3 of analyzed and cultivation water were taken into chemical cups with a capacity of 250 cm^3. Each sample of the test water was analyzed in triplicate. Repetition for control samples is also threefold.10 one-day-old daphnia were placed in each glass and exposed at a temperature of 22±2 °C for 48 hours. Before the start of biotesting, daphnia were fed.

Table 1 - Conditions for the biotesting procedure

Sample No.	Date: 22.02.2023	Temperature, °C	Dissolved oxygen, mg/dm^3	pH
1	Control	24	7.5	8.21
2	Waste of the CCP module	24	6.3	8.28
3	Waste of the CCP module + module 1A cake	24	6.1	8.19
4	Cake of module 1A	24	6.5	7.16
5	Synthetic gypsum	24	6.9	7.55

Table 2 - Results of calculating the survival rate of daphnia

Duration of biotesting	Number of surviving daphnia, specimens														
	Control			Waste of the CCP module			CCP module waste + cake of module 1A			Cake of module 1A			Synthetic gypsum		
	No. of experiment			No. of experiment			No. of experiment			No. of experiment			No. of experiment		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
22.02.2023	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
23.02.2023 (24 hours)	10	10	10	2	1	2	10	7	7	10	10	10	6	6	8
24.02.2023 (48 hours)	10	10	10	2	1	2	10	6	5	10	10	10	6	6	8
Average number of surviving daphnia, specimens	10			1.7			7			10			6.7		
A, %	0			83			30			0			33		

During the entire biotesting period, the crustaceans were not fed. Surviving daphnia were counted after 1, 6, 12, 24, and 48 hours. Crustaceans were considered survivors if they moved freely in the water or surfaced from the bottom no later than 15 s after a slight rocking of the glass.

Results of testing are presented in Table 2. The biotesting results were considered correct if the death of daphnia in the control did not exceed 10% for the entire observation period and the oxygen concentration in the test water at the end of the experiment was at least 2 mg/dm^3 (Table 3).

Table 3 - Oxygen concentration in the tested samples at the end of the experiment

Sample No.	After 96 hours	Dissolved oxygen, mg/dm^3
1	Control	2.6
2	Waste of the CCP module	2.4
3	CCP module waste + cake of module 1A	2.0
4	Cake of module 1A	2.4
5	Synthetic gypsum	2.5

For the waste of the CCP module, a repeated biotesting procedure was carried out (dilution factor 10 times). The biotesting procedure (determination of acute toxicity) was carried out for the test sample under the conditions specified in Table 4. The results of the calculation after 48 hours are presented in Table 5.

Table 4 - Conditions for the biotesting procedure

Date: 28.02.2023	Temperature, °C	Dissolved oxygen, mg/dm^3	pH
Control	24	7.5	8.15
Waste of the CCP module	24	6.5	8.20

Table 5 - Results of calculating the survival rate of daphnia

Duration of biotesting	Number of surviving daphnia, specimens					
	Control			CCP module waste		
	repetition			repetition		
	1	2	3	1	2	3
28.02.2023	10	10	10	10	10	10
01.03.2023 (24 hours)	10	10	10	10	10	10
02.03.2023 (48 hours)	10	10	10	10	9	9
Average number of surviving daphnia, specimens	10			9.3		
A, %	0			7		

Results and discussion. As a result of the experiment, it was established that the survival rate of aquatic organisms in experimental samples (compared to the control sample) is:

- CCP module waste - 17%;
- CCP module waste + cake of module 1A - 70%;

- Cake of module 1A - 100%;

- Synthetic gypsum - 67%.

Thus, determining the impact of only the aqueous extract of waste without its dilution allows to classify the waste: waste of CCP module + cake of module 1A, cake of module 1A and synthetic gypsum to the fifth class of environmental hazard.

For the waste of the CCP module, a repeated biotesting procedure was carried out (dilution factor 10 times). According to the results of the study for the waste of the CCP module (survival rate of aquatic organisms was 93%) based on the dilution factor of the aqueous extract (10 times), at which no impact on aquatic organisms was detected in accordance with the dilution factor ranges (Table 6), hazard class 4 was established.

Table 6 - Assignment of hazard class according to the dilution factor of the aqueous extract

Waste hazard class	Dilution factor of the aqueous extract from hazardous waste, at which there is no harmful effect on aquatic organisms
I	10,000
II	From 10,000 to 1,001
III	From 1,000 to 101
IV	100
V	1

Conclusion. Even though there is no universal test system for determining all existing toxicants, biotesting as an integral assessment method is successfully used as an environmental monitoring tool. Biotesting is one of the research techniques in the field of toxicology, widely used nowadays to assess the degree of toxicity of various ecosystems. Biotesting does not cancel the analytical control system, but effectively complements it with qualitatively new indicators, since from an environmental point of view, the results of determining the concentration of pollutants themselves have only relative value. It is important to know not the levels of pollution, but the biological effects they cause. As a result of biotesting, it was established that Daphnia magna is sensitive to waste from the processing of phosphate raw materials. Aqueous extracts (without dilution) from the mixture of CCP module waste + cake of module 1A (1:1), cake of module 1A and synthetic gypsum do not have an inhibitory effect on hydrobionts. An ecological and toxicological study confirmed that the studied samples belong to the fifth class of environmental hazard (virtually non-hazardous). For the aqueous extract from the waste of the CCP module without its dilution, inhibition of the viability of aquatic organisms was revealed. The death of daphnia may be associated with waste components that cause blockage of the respiratory tract with dispersed particles. It was revealed that with increasing dilution, the mortality rate of daphnia decreases; the dilution ratio of the aqueous extract was established (10 times), having no effect on hydrobionts. Thus, the waste from the CCP module, in accordance with the dilution factor ranges, is assigned to the fourth hazard class (low hazard) for the environment. The results obtained allowed to conclude that the studied waste is acceptable for safe storage (under controlled conditions) and further processing.

References

1. Goncharuk V.V., Pleteneva T.V., Rudenko A.V., Syroeshkin A.V., Kovalenko V.F., Uspenskaya E.V., Saprykina M.N., Zlatskiy I.A. Basic principles of comprehensive biotesting of drinking water and point

system classification of water quality // Journal of Water Chemistry and Technology. - 2018. - Vol.40(1).- P.35- 39 DOI 10.3103/S1063455X1801006X.

2. Stravinskene E.S., Subbotin M.A., Grigoriev Yu.S., Shashkova T.L., Sorokina G.A. The effect of the ratio of the medium volume and the number of organisms on the results of toxicological experiments // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.- 2019. - Vol.315: 042033. DOI 10.1088/1755-1315/315/4/042033.

3. Starostina I., Vasilenko T., Simonov M., Pendurin E. Evaluating Toxicological Properties of Claydite Gravel, Containing Ferrovanadium Production Sludge, by Method of Biotesting with the of Higher Plants // E3S Web Conferences.- 2019.- Vol.126:00068. DOI 10.1051/e3sconf/201912600068

4. Bushumov S., Korotkova T., Ksandopulo S., Solonnikova N., Demin V. Determination of the Hazard Class of Ash After Coal Combustion by the Method of Biotesting // Oriental Journal of Chemistry. – 2018. - Vol. 34(1). - P.276-285. DOI 10.13005/ojc/340130

5. Kucherik G.V., Omelchuk Yu.A., Sytnikov D.M. Biotesting of quarry lakes as an alternative source of drinking water supply // Scientific Notes of Crimean V. I. Vernadsky Federal University Biology. Chemistry. 2022. - Vol.8 (74). - P.87–92

6. Lushchay E.A., Ivanov D.E., Tikhomirova E.I. Development and Efficiency Assessment of New Methods on Rapid Assessment of Toxicity in Environmental Monitoring // Povolzhskiy Journal of Ecology. - 2019. - Vol.4. - P.458-469. DOI 10.35885/1684-7318-2019-4-458-469

7. Morachevskaya E.V., Voronina L.P. Bioassay as a method of integral assessment for remediation of oil-contaminated ecosystems // Theoretical and Applied Ecology. - 2022. - Vol.1. - P.34-43. DOI 10.25750/1995-4301-2022-1-034-043

8. Goncharova E.N., Kurzenev I.R., Vasilenko M.I., Pendjurin E.A. Biotestirovanie zookomposta kul’ tivirovanie lichinok Hermetia illucens // Vestnik RUDN. Serija: Jekologija i bezopasnost’ zhiznedejatel’ nosti. - 2020. - T.28(4). - S.324-335. DOI 10.22363/2313-2310-2020-28-4-324-335 [in Russian]

9. Bardina T., Podboronova A., Skljarova L. Jekotoksikologicheskaja ocenka othodov i pochvennogo pokrova antropogenno zagrjaznennyh territorij s ispol’ zovaniem biotest-sistem // Formuly Farmacii.- 2021.- T.3(4).-S.102-107. DOI 10.17816/phf106205. [in Russian]

10. Bardina T.V., Chugunova M.V., Kulibaba V.V. Ispol” zovanie metodov biotestirovanija dlja ocenki jekologicheskogo sostojanija pochvogruntov rekul” tivirovannogo kar” era // Biosfera.- 2020. -T.12(1-2). - S.1-11. DOI 10.24855/BIOSFERA.V12I1.539. [in Russian]

11. Kuzubova E., Grigorenko N., Shaidorova G., Ogneva Z., Potapova M. Biotesting of Soil Contamination of Agricultural Land Prokhorovsky District of the Belgorod Region // Engineering Proceedings. - 2023. - Vol.37(1):44. DOI 10.3390/ECP2023-14657

12. Jurlov A.A., Suncova N.A., Musihina T.A., Zemcova E.A., Koshkina N.A., Devjaterikova S.V., Kazienkov S.A. Vlijanie stokov proizvodstva ftorpolimerov na biotu // Voda i jekologija: problemy i reshenija.- 2018. -№ 3(75). - S.76-84. DOI 10.23968/2305–3488.2018.20.3.76–84 [in Russian]

13. Biologicheskie metody kontrolja. Metodika opredelenija toksichnosti vody i vodnyh vytjazhek iz pochv, osadkov stochnyh vod, othodov po smertnosti i izmeneniju plodovitosti dafnij. Federal’ nyj reestr (FR). FR.1.39.2007.03222. Metodika dopushhena dlja celej gosudarstvennogo jekologicheskogo kontrolja. Moskva.: «AKVAROS», 2007. - 47 s. [in Russian]

14. ST RK 17.1.4.01-95 Ohrana prirody. Gidrosfera. Metodika opredelenija ostroj toksichnosti vody na dafnijah. Gosudarstvennyj standart Respubliki Kazahstan, Komitet po standartizacii, metrologii i sertifikacii Respubliki Kazahstan. Almaty. - 1996 [in Russian]

15. RD 118-02-90 Miheev N.N. Rukovodstvo po opredeleniju metodom biotestirovanija toksichnosti vod, donnyh otlozhenij, zagrjaznjajushhih veshhestv i burovyh rastvorov. RJeFIA, NIA-Priroda Moskva. - 2002. [in Russian]

Information about the authors

Seraya N.V. - candidate of Chemical Sciences, Professor of D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: nseraya@mail.ru;

Litvinov V.V. - deputy director of Proektno-ekologicheskoe bjuro LLP, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: litvinov_vadim@mail.ru;

Daumova G.K. - candidate of Technical Sciences, Professor of D.Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru;

Yelubay M.A. - candidate of Chemical Sciences, Professor of Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan; Researcher, Humboldt-Innovation GmbH, Berlin, Germany. e-mail: m.yelubay@gmail.com;

Kulmagambetova E.A. - candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher at the Department of Biomonitoring and Occupational Hygiene of the RRIOSH of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Woszczyk M. - Ph.D., associate professor, Biogeochemistry Research Unit, Adam Mickiewicz University, Poznań, Poland, e-mail: woszczyk@amu.edu.pl.

Сведения об авторах

Серая Н.В. - кандидат химических наук, профессор Восточно-Казахстанского технического университета им. Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: nseraya@mail.ru;

Литвинов В.В. - заместитель директора ТОО «Проектно-экологическое бюро», Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: itvinov_vadim@mail.ru;

Даумова Г.К. - кандидат технических наук, профессор Восточно-Казахстанского технического университета, Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: gulzhan.daumova@mail.ru;

Елубай М.А. - кандидат химических наук, профессор Торайгыров Университет, Павлодар, Казахстан, научный сотрудник, Humboldt-Innovation GmbH, Берлин, Германия, e-mail:m.yelubay@gmail.com;

Кульмагамбетова Э.А. - кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник отдела биомониторинга и гигиены труда, 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;

Woszczyk M. - доцент, исследовательский отдел биогеохимии, Университет Адама Мицкевича, Познань, Польша, e-mail: woszczyk@amu.edu.pl.

IRSTI 61.51.21 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1022**

CORRIGENDUM NOTICE: to “K. G. Satenov, Ye. Suleimen», “Process Simulation and Evaluation of Methanol Recovery Unit Using ASPEN HYSYS”, vol.28, no.3 ,1022, Sep. 2025. (https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1022). An error was made in the “Funding” section of the published article. The reference to the grant is erroneous and should be excluded. The correct wording is as follows: ”The study was conducted within the framework of the Program-Targeted Financing Project of The Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant number is BR 24992761)”. This correction does not affect the overall conclusions of the article. The authors apologize for any confusion this may have caused. Published: 08.12.2025.

PROCESS SIMULATION AND EVALUATION OF METHANOL RECOVERY UNIT USING ASPEN HYSYS

[1,2]K.G. Satenov, [1-4]Ye.M. Suleimen
[1]LLP KMG Engineering, Astana, Kazakhstan,
[2]Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,
[3]Sh.Ualikhanov Kokshetau University, Laboratory of NMR Spectroscopy, Kazakhstan,
[4]LLP Institute of Applied Chemistry, Astana, Kazakhstan
Corresponding author: syerlan75@yandex.kz

Natural gas is one of the most economical and environmentally friendly energy sources, playing a crucial role in Kazakhstan’s gas industry. The optimization of gas processing technologies, particularly methanol regeneration, is essential for improving efficiency and reducing operational costs. Methanol (CH_3OH) is widely used in the oil and gas industry as a hydrate inhibitor, but its high consumption necessitates regeneration to minimize costs and environmental impact.

This study focuses on the technical and economic feasibility of methanol regeneration from methanol-water solutions (MWS) at the “X” gas processing plant in western Kazakhstan. The Aspen HYSYS software was used to simulate the methanol recovery process, employing the Peng-Robinson equation of state. The study explored different process configurations, considering separation, purification, and rectification technologies.

Keywords: Methanol-Water Solutions (MWS), Complex gas treatment plant (CGTP), The Peng-Robinson equation of state with the Stryjek and Vera modification (PRSV), Air Cooler Unit (ACU).

ASPEN HYSYS КӨМЕГІМЕН МЕТАНОЛДЫ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ ҚОНДЫРҒЫСЫН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ

[1,2]Қ.Г. Сатенов, [1-4]Е.М. Сүлеймен
[1]ҚМГ Инжиниринг ЖШС, Астана қ., Қазақстан,
[2]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау Университеті, ЯМР Спектроскопия зертханасы, Қазақстан,
[4]Қолданбалы Химия Институты ЖШС, Астана, Қазақстан,
e-mail:syerlan75@yandex.kz

Табиғи газ - Қазақстанның газ өнеркәсібінде маңызды рөл атқаратын, ең үнемді әрі экологиялық тұрғыдан тиімді энергия көздерінің бірі. Газ өңдеу технологияларын, әсіресе метанолды регенерациялау үдерісін оңтайландыру - тиімділікті арттырып, операциялық шығындарды азайту үшін маңызды. Метанол (CH_3OH) мұнай-газ саласында гидрат ингибиторы ретінде кеңінен қолданылады, алайда оның жоғары тұтыну мөлшері шығындар мен экологиялық әсерді азайту үшін оны регенерациялауды қажет етеді.

Бұл зерттеу Батыс Қазақстандағы “Х” газ өңдеу зауытында метанол-сулы ерітінділерден (МСЕ) метанолды қалпына келтірудің техникалық және экономикалық орындылығына бағытталған. Метанолды қалпына келтіру үдерісі Aspen HYSYS бағдарламасы арқылы модельденіп, Peng–Robinson күй теңдеуі қолданылды. Зерттеу барысында бөлу, тазарту және ректификациялау технологияларын қамтитын түрлі үдеріс конфигурациялары қарастырылды.

Түйін сөздер: Метанол-сулы ерітінділер (МСЕ), Кешенді газ өңдеу зауыты (КГӨЗ), Стрижек және Вера модификациясымен Пенг-Робинсон күй теңдеуі (PRSV), Ауа салқындатқыш құрылғысы (АСҚ).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА И ОЦЕНКА РАБОТЫ УСТАНОВКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАНОЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ASPEN HYSYS

[1,2]К.Г. Сатенов, [1-4]Е.М. Сулеймен

[1]ТОО КМГ Инжиниринг, Астана, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3]Кокшетауский университет им. Ш.Уалиханова, лаборатория ЯМР-спектроскопии, Казахстан,
[4]ТОО "Институт прикладной химии", Астана, Казахстан,
e-mail:syerlan75@yandex.kz

Природный газ - один из самых экономичных и экологически безопасных источников энергии, играющий важную роль в газовой промышленности Казахстана. Оптимизация технологий переработки газа, в частности регенерации метанола, имеет ключевое значение для повышения эффективности и снижения эксплуатационных затрат. Метанол (CH_3OH) широко применяется в нефтегазовой отрасли в качестве ингибитора гидратообразования, однако его высокий расход требует регенерации для минимизации затрат и снижения экологического воздействия.

В данном исследовании рассматривается техническая и экономическая целесообразность регенерации метанола из метанол-водных растворов (МВР) на газоперерабатывающем заводе "Х" в Западном Казахстане. Для моделирования процесса восстановления метанола использовалось программное обеспечение Aspen HYSYS с применением уравнения состояния Пенга-Робинсона. В исследовании были рассмотрены различные конфигурации процесса, включая технологии разделения, очистки и ректификации.

Ключевые слова: Водометанольный раствор (ВМР), Установка комплексной подготовки газа (УКПГ), Уравнение состояния Пенга–Робинсона с модификацией Стрижека и Веры (PRSV), Воздушный охладитель (ВО).

Introduction. Natural gas is one of the most economical sources of fuel and energy resources, occupying a special place in the world raw material base. The reason is its high consumer characteristics, low production and transportation costs, as well as widespread use in many areas of human activity [1-3].

Great hopes are placed on natural gas as the cheapest, highly environmentally friendly fuel in preparation for the transition to the wider use of alternative non-traditional types of electricity (solar, wind, water, geothermal energy).

The gas industry of Kazakhstan is an important source of income and occupies an important place in the socio-economic development of the Republic of Kazakhstan, therefore significant funds are allocated for its development and modernization [4-7]. The development of resource-saving technologies is an important area for the oil and gas industry.

Complex gas treatment plants are a set of direct and indirect equipment designed for collecting and processing natural gas and gas condensate.

They include separation, purification, drying and cooling units, as well as booster compressor stations. When developing oil and gas fields in a sharply continental climate, it is necessary to consider the possibility of hydrate formation [8-11].

In technologies for production, treatment and transportation of oil and gas, gas hydrates because serious problems associated with disruption of these operating processes [12-13].

Gas hydrates are solid crystalline compounds that are formed under certain thermobaric conditions from an aqueous solution, ice, water vapor and low molecular weight gases. They have an appearance similar to ice or snow. Methanol (CH_3OH) is used in the oil and gas industry as a hydrate inhibitor.

In order to optimize operating costs, by reducing the volume of methanol purchases and its delivery to the point of use, methanol regeneration units are integrated into the gas treatment process, while the economic efficiency and feasibility of methanol regeneration is determined for each individual case, considering the impact various conditions and factors in the conditions present at a particular enterprise.

Materials and methods. The most optimal technology for methanol regeneration is the MWS rectification process using additional equipment for purification from mechanical impurities, salts, and hydrogen sulfide [11].

The purpose of studying the methanol regeneration

process is to determine the technical feasibility and economic feasibility of regenerating methanol from MWS released during the preparation of well fluid at the processing units of the “X” field, located in the western region of Kazakhstan.

In order to determine the technical feasibility of methanol regeneration, it is necessary to determine the quality of the base MWS, as well as the volume of purified methanol yield. Assess capital costs for the construction of a new MRU and cost-effectiveness analysis.

The methanol recovery plant was modeled to produce methanol by treating industrial wastewater from a CGTP, which is then suitable for injection into the reservoir, using the Aspen HYSYS software package, designed to study the processes of preparing oil and gas feedstocks [14-15].

The thermodynamic package used was the Peng-Robinson equation of state modified by Stryjek and Vera (PRSV), which more accurately predicts the phase behavior of hydrocarbon systems, especially systems consisting of dissimilar components.

The PRSV equation of state performs rigorous three-phase instantaneous calculations for aqueous systems containing H_2O, CH_3OH or glycols, as well as systems containing other hydrocarbons or non-hydrocarbon compounds in the second liquid phase [16-17].

Results and discussion. The goal of this process simulations was to produce the final methanol product at the “X” field gas processing plant located in the western region of Kazakhstan, with the following requirements:

- methanol (CH_3OH) - not less than 95 % wt.;

- hydrogen sulfide (H_2S) - no more than 1 ppm;

- water (H_2O) - no more than 5 % wt.

Table 1 presents the indicators for methanol concentration (% wt.) and MWS consumption (m^3/day), adopted for two options, designated as Base Option - (B1) and Alternative Option - (B2).

Table 1 - Indicators for methanol concentration (% wt) and MWS consumption

Options	Methanol concentration, % wt	MWS consumption, m^3/day
Basic option - (B1)	1.5	50
Alternative option - (B2)	1.31	8

To characterize the MWS at the inlet to the new MRU in the Aspen HYSYS program, the compositions of HC, total suspended particles (TSP) and salts for both options were specified as follows (Table 2-4):

Table 2 - Composition and properties of hydrocarbons in MWS

HC composition	Mole fractions	Mass fractions
CH_4	0.0420	0.0058
C_2H_6	0.0420	0.0108
C_3H_8	0.0699	0.0264
iso-C_4H_{10}	0.0420	0.0208
n-C_4H_{10}	0.0420	0.0208
iso-C_5H_{12}	0.0559	0.0345
n-C_5H_{12}	0.0559	0.0345
n-C_6H_{14}	0.0629	0.0464
n-C_7H_{16}	0.0559	0.0479
n-C_8H_{18}	0.0559	0.0546

n-C_9H_{20}	0.0559	0.0613
n-$C_{10}H_{22}$	0.0699	0.0851
n-C_{11}	0.0699	0.0934
n-C_{12}	0.0699	0.1018
n-C_{13}	0.0699	0.1102
n-C_{14}	0.0699	0.1186
n-C_{15}	0.0699	0.1270
Total	**1.0000**	**1.0000**

To model the properties of TSP in MWS in Aspen HYSYS, the hypothetical components (pseudo-components) tab was used.

The Aspen HYSYS library allows you to create hypothetical components to describe hydrocarbon feedstocks. In the calculations, kaolin was used as a hypothetical component, having a molar mass of 258.0 and a density of 2600.0 kg/m^3, as the most suitable component in terms of characteristics (Table 3).

Table 3- Composition and properties of TSP in MWS

Composition	**Mole fractions**	**Mass fractions**
TSP	1.0000	1.0000
Properties		
Molecular weight*	258.0	
Density (kg/m^3)	2600.0	
Diameter (mm)	1.000	

**hypothetical component - kaolin*

Table 4- Composition of salts in MWS

Composition	**Mole fractions**	**Mass fractions**
NaCl	0.7085	0.5000
Na_2SO_4	0.2915	0.5000

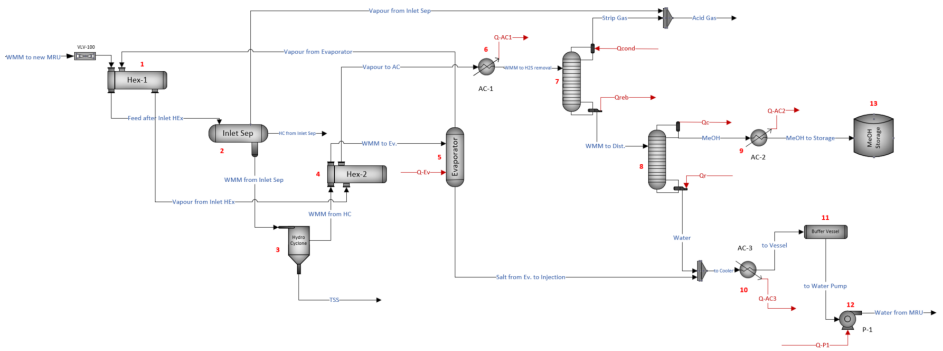


Fig.1 - Process diagram of the new MRU for option B1

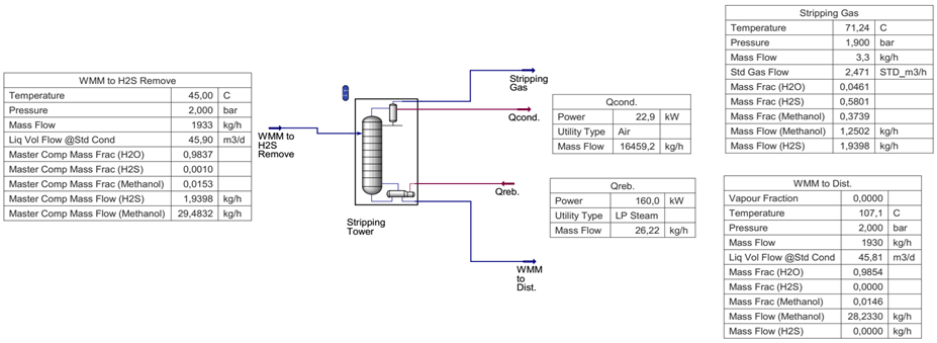


Fig.2 - Parameters of the stripping column for H_2S removal of the new MRU, according to B1 option

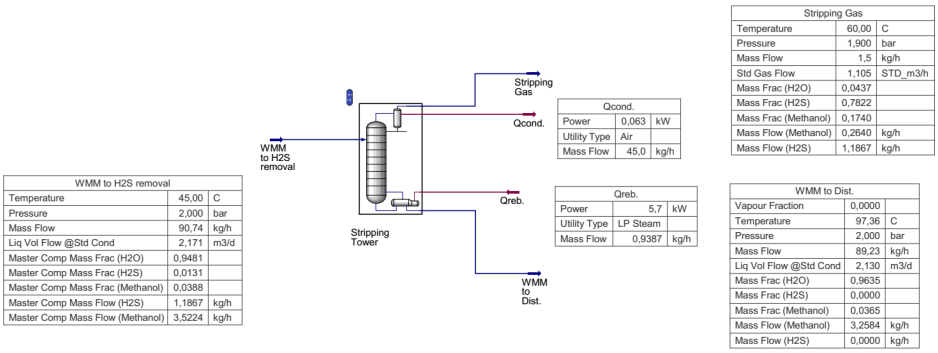


Fig.3 - Parameters of the stripping column for H_2S removal of the new MRU, according to B2 option

When modeling the new MRU, the need to remove such undesirable components as hydrocarbons, salts, TSP and H_2S from the input flow of the MWS was considered. The design of the new MRU was supplemented with the following equipment: a three-phase separator with a filter-coalescer for removing hydrocarbons, a hydrocyclone for removing TSP, an evaporator for removing salts, a stripping column for removing H_2S.

The final process diagrams of the new unit for the two options are identical, in Fig.1 shows a diagram of the new MRU only for the basic version (B1). The operating parameters of the stripping column for two options are shown in Fig.2-3.

Saturated MWS with a pressure of about 2.7 bar after the reducing valve and a temperature of about 31.5 °C enters the input heat exchanger-heater MWS HEx-1 “steam-liquid” (1), in which it is heated to approximately 94.50 °C so that improve the separation of MWS from hydrocarbons carried away from the process lines of the gas treatment plant. After heating in HEx-1, the MWS enters the separator V-102 (2), which is also equipped with a coalescer filter for more complete removal of hydrocarbons from the MWS, since even a small number of dissolved hydrocarbons can form stable emulsions with the aqueous phase of the MWS. The pressure in the separator V-102 is maintained at 2.5-2.55 bar abs. At the same time, the separator V-102 serves to remove light hydrocarbon gases if they were captured by the MWS flow. It is assumed that the captured hydrocarbons, under their own pressure, are periodically discharged into the closed drainage system of the gas treatment plant, and the MWS enters the hydrocyclone (3) to remove the suspended solids, which are discharged from the bottom of the hydrocyclone. The MWS after the hydrocyclone passes through the HEx-2 heat exchanger (4), where it is heated to 105 °C before entering the evaporator (5). The evaporator inside is equipped with a tube bundle into which water vapor (or any other heat-transfer medium) with a temperature of about 130-135 °C is supplied, which heats the MWS to 130 °C, transferring the MWS to a completely vapor phase. In this case, the salts are removed from the bottom of the evaporator in the form of a brine solution. The MWS vapor stream leaving the evaporator preheats the MWS input stream in HEx-1 and the MWS stream before the evaporator in HEx-2.

Before entering for regeneration, dissolved H_2S must be removed from the MWS, because product methanol

should not contain this extremely undesirable, highly toxic and corrosive component. To remove H_2S, an evaporation column (7) is installed, consisting of the column itself, as well as:

- top of the condenser column (ACU (6) or water cooler), reflux tank and reflux return pump;

- the bottom of the reboiler column for heating the bottom liquid (water vapor can act as a heating agent).

It is also possible to use hot oil as a heating agent, or to heat the bottom liquid directly in a fire heater: both of these options require fuel gas.

MWS with a pressure of 2 bara and at a temperature of 45 °C enters the upper part of the evaporation column. According to calculations, the temperature of the upper product of the evaporation column after the reflux tank was 71.24 °C, the pressure was 1.9 bar, and the temperature of the bottom liquid was 107 °C. H_2S with some water vapor, about 1.9-2 % wt., after a reflux tank of 59.304 Sm^3pd (79.2 kg/day is discharged to the Low-Pressure Flare). Since the volume of gas after the stripper column is very small, this should not have a significant impact on greenhouse gas emissions.

The MWS from the bottom of the evaporation column with a temperature of 107 °C enters the middle part of the distillation column (8). Methanol is regenerated by rectification at a pressure of 1.9 bara and 2 bara and temperatures of 86 °C and 120 °C at the top and bottom of the column, respectively. The upper product of the column is methanol with a purity of at least 95 % wt., the lower product is water (99.99 % wt.) with a methanol concentration of no more than 0.01 % wt. Water from the bottom of the column is discharged into the drainage system, and the regenerated methanol, having passed through the air cooler (9), where it is cooled to 45 °C, and the reflux tank is further supplied to the corresponding tank at the chemical reagent storage site (13). Part of the regenerated methanol after the reflux tank is supplied to the top of the column for reflux using a reflux pump.

Additional pumps for pumping product methanol into the storage tank and bottom water into the drainage system are not needed, since the flow pressure is ~1.8 and 1.85 bara, respectively, is sufficient for pumping.

Since the water from the bottom of the column is already a fairly pure product, it can be introduced into the recycling cycle.

According to the modeling results, the methanol product meets the specification requirements (Table 5).

The simulation results were used to estimate capital costs according to AACE Class 5 [18].

Table 5 - Methanol Product Specifications

Methanol to storage	**Options**	
	B1	B2
Temperature, °C	45	45
Pressure, bar	1.55	1.55
% Methanol recovery	83.1	77.2
Mass flow, kg/h	27.71	3.58
Methanol, % wt	95	95
Water, % wt	5	5
H_2S, % wt	0	0

At each stage of project implementation, the error of the calculated budget is specified, according to the AACE methodology, which is assigned a class:

- from the first class with an error of 10 % / 15 %,

- up to grade 5 with an error of 50 % / +100 %.

Capital costs were calculated in the ASPEN Process Economic Analyzer (APEA) software package, based on modeling the operating process of the new MRU, with the definition of a list of main equipment (Table 6).

Table 6 - List of main equipment

No.	Item number	Name	Description	Quantity, units
Heat exchange equipment				9
1	1	HE-1	Input heater MWS	1
2	4	HE-2	MWS heater in front of the evaporator	1
3	6	AC-1	Air MWS cooler	1
4	9	AC-2	Air methanol product cooler	1
5	10	AC-3	Air water cooler	1
6	7.1	C-Str	Stripper condenser	1
7	8.1	C-Dist	Distillation column condenser	1
8	7.2	R-Str	Stripper reboiler	1
9	8.2	R-Dist	Distillation column reboiler	1
Capacitive equipment				1
1	11	Buffer Vessel	Water buffer capacity	1
Separation equipment				7
1	2	Inlet Separator	Input separator MWS	1
2	5	Evaporator	Evaporator MWS	1
3	7.3	RV-1	Reflux tank of stripper column	1
4	8.3	RV-2	Reflux tank of distillation column	1
5	7	Stripping column	Stripping column	1
6	8	Distillation col.	Distillation column	1
7	3	Hydrocyclone	Hydrocyclone removal of TSP	1
Pumps				3
1	12	P-1	Water pump	1
2	7.4	RP-1	Stripper Reflux Pump	1
3	8.4	RP-2	Distillation Column Reflux Pump	1
Storage containers				1
1	13	MeOH Storage	Methanol storage tank	1
Total units of equipment				**21**

Based on the simulation of the operating process, the capital costs for the acquisition of a block-modular MRU were determined, considering the main equipment, materials and costs for the manufacture of modules (Table 7). When calculating the total cost of the project, considering the average complexity and level of uncertainty for this stage, based on the Operator's capital cost calculation standards, the following assumptions were made to increase the base estimate:

- 40 % allowance for possible unaccounted indicators for the items "Equipment" and "Construction and installation work";

- 30 % contingency for all cost items.

Table 7- Results of calculating the cost of manufacturing a block-modular MRU

Name of costs	Cost according to B1*	Cost according to B 2*
Equipment	571 739	450 061
Pipelines	777 477	408 296
Construction Materials	699 031	493 684
Steel products	68 145	63 348
Automation	1 578 052	1 389 855
Electrical equipment	981 802	979 736
Insulation	236 172	93 602
Painting	103 977	70 116
Total	**5 016 395**	**3 948 699**

**Prices are in US dollars.*

General and administrative expenses are assumed to be 15 % of the total procurement and construction costs. The results of calculating capital costs are presented in Table 8.

Table 8 - Results of calculating capital costs for project implementation by options

Engineering	Cost according to B1*	Cost according to B2*
Basic Design	985 877	626 943
Detailed design	1 834 647	1 507 897
Equipment	6 011 160	4 925 825
Manufacturing costs	2 227 628	1 614 863
Construction and installation works	3 293 171	1 919 150
General and administrative expenses	1 331 037	975 620
Total for the Project	**15 683 520**	**11 570 297**

**Prices are in US dollars.*

Table 9 - Economic assessment results

Indicators	B1	B2
Calculation period	2023-2037	
Cumulative volume of methanol production, thousand tons	5.99	3.74
Annual methanol production, t	570.00	356.00
Total cost of recovered methanol for the calculation period, million US dollars	6.47	4.04
OPEX MOD, million US dollars	-1.84	-1.36
CAPEX MOD, USD million	-16.72	-12.33
NPV @10, million US dollars	-10.13	-7.80
Break-even analysis		

CAPEX, USD	2 566 657	1 722 828
Methanol price, USD/t	5 172	6 132
Methanol volume, t/g.	3 229	3 010

Based on the results of calculating capital costs, an assessment of economic efficiency was made with the following indicators (Table 9).

The economic assessment of the project with accepted forecast operational and current macroeconomic parameters and cost assumptions shows:

- positive results (NPV≥0) with CAPEX not exceeding USD 2.6 million (base scenario) and USD 1.7 million (alternative scenario);

- positive results (NPV≥0) with a methanol price of at least 5 172 USD/t (base scenario) and 6 132 USD/t (alternative scenario);

- positive results (NPV≥0) with an annual methanol production volume of at least 3.2 thousand tons/year (base scenario) and 3 thousand t/year (alternative scenario).

Conclusions. When modeling the existing methanol removal scheme, we found that the recovery rate was insufficient. To increase the efficiency of regeneration, it is necessary to supplement the process diagram with additional equipment for purification from mechanical impurities, salts, and hydrogen sulfide.

We have determined the optimal technical and process parameters of the distillation column and hydrogen sulfide removal column. The product of the regeneration unit is a saturated 95 % methanol solution.

The study allowed us to determine the following:

1. From an engineering point of view, the regeneration of methanol in CGTP conditions is quite feasible.

2. Rectification of MWS is by far the most developed and widespread technology. There are a significant number of companies on the market that have extensive experience in the design and manufacture of MRU using the rectification method.

3. The average annual yield of regenerated methanol at the specified volumes of MWS and methanol concentration will be: option B1 – 570 t/year, option B2 - 356 t/year.

4. The low concentration of methanol in the MWS is due to the existing technological process, which allows only a small amount of methanol to be recovered from the process streams. The main volume of methanol is carried away with gas (about 15-20 %) and condensate (70-75 %).

5. A prerequisite for the regeneration of methanol in CGTP conditions is at field “X” is the need for preliminary preparation of the MWS with the mandatory removal of hydrocarbons, mechanical impurities and acid gases.

Funding: *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19679527 and BR24992761).*

References

1. Zanne M., Grčić M. Challenges of LNG (Liquefied Natural Gas) Carriers in 21” Century // Promet-Traffic & Transportation. - 2009. - Vol.21 (1).- P.49-60. DOI 10.7307/ptt.v21i1.912.

2. Mohammad N., Ishak W. W. M., Mustapa S. I., Ayodele B. V. Natural Gas as a Key Alternative Energy Source in Sustainable Renewable Energy Transition: A Mini Review // Front. Energy Res. -2021. - 9:625023. DOI 10.3389/fenrg.2021.625023.

3. Kang D. W., Lee W., Ahn Y. H., Kim K., & Lee J. W. Facile and sustainable methane storage via clathrate hydrate formation with low dosage promoters in a sponge matrix // Energy. - 2024. -Vol.292:130631. DOI 10.1016/j.energy.2024.130631

4. Chakeeva K. S., Mombekova G. R., Kuzenbayeva E. R. The current state of the oil and gas industry of the Republic of Kazakhstan//State Audit.- 2023. -Vol.2(59). - P.107.-117. DOI 10.55871/2072-9847-2023-59-2-107-117

5. Imangozhina Z.A. Sovremennoe sostojanie gazovoj otrasli Respubliki Kazahstan// Vestnik universiteta Turan. -2021.-№ 1 (89) - S.201-208. DOI 10.46914/1562-2959-2021-1-1-201-208. [in Russian]

6. Kaiser, M. J., & Pulsipher, A. G. A review of the oil and gas sector in Kazakhstan // Energy Policy.- 2021.- Vol.35 (2). - P.1300 - 1304. DOI 10.1016/j.enpol.2006.03.020

7. Maldynova A., Bodaukhan G., Aitkhojayeva G., Ilyas A., B. Murzabekova. Innovative Potential of the Oil and Gas Industry of Kazakhstan // Eurasian Journal of Economic and Business Studies. - 2023. - Vol.67 (2). - P.33-34. DOI 10.47703/ejebs.v2i67.253

8. Besley D., Kohli S., Rahardja S., Knight D., Farole T., Collier J. B., et.al. “Country Climate and Development Report (CCDR): KAZAKHSTAN,” The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, 2022. [Online]. Available: https://documents1.worldbank.org.- Date of address: 26.05.2025

9. Aregbe A. Gas Hydrate-Properties, Formation and Benefits // Open Journal of Yangtze Oil and Gas. - 2017.- Vol.2 (1). - P.27. DOI 10.4236/ojogas.2017.21003

10. You K., Flemings P. B., Malinverno A., Collett T. S., Darnell K. Mechanisms of Methane Hydrate Formation in Geological Systems // Reviews of Geophysics. - 2019.- Vol.57(41). - P.1146. DOI 10.1029/2018RG000638

11. Satenov K. G., Tkenbayev S. M., Tashenov Z. A., Akhmetov Z. E., Kadyrov S. R. Kazakhstan journal for oil & gas industry. - 2024.- Vol. 6 (1).- P.99. DOI 10.54859/kjogi108691 [in Russian]

12. Sayed A. E.-R., Ashour I., Gadalla M. Integrated process development for an optimum gas processing plant // Chemical Engineering Research and Design. - 2017. Vol.124.-P.114-123. DOI 10.1016/j.cherd.2017.05.031

13. Mazumder M., Xu Q. Modeling and Optimization for a Comprehensive Gas Processing Plant with Sensitivity Analysis and Economic Evaluation //Chemical Engineering & Technology. - 2020. -Vol.43 (11). - P. 2198-2207. DOI 1002/ceat.202000216

14. Teixeira A. M., Arinelli L. de O., de Medeiros J. L., de Q. F. Araújo O. Recovery of thermodynamic hydrate inhibitors methanol, ethanol and MEG with supersonic separators in offshore natural gas processing // Journal of Natural Gas Science and Engineering. - 2018. - Vol.52. - P.186-186. DOI 10.1016/j.jngse.2018.01.038

15. Yang Xiao, Shengbin Wu, Hantao Xia, Jinyuan Zhang, Lingling Ding, Xiaolong Bao, Yi Tang, Yongjie Qi. Simulation of and multi-aspect study of a novel trigeneration process for crude helium, liquefied natural gas, and methanol production; operation improvement and emission reduction // Fuel.-2023.- Vol.347: 128402. DOI 10.1016/j.fuel.2023.128402

16. Stryjek R., Vera J. H. PRSV: An Improved Peng-Robinson Equation of State for Pure Compounds and Mixtures // Canadian Journal of Chemical Engineering.-1986.- Vol.64 (2).- P.323-333. DOI 1002/cjce.5450640224

17. Proust P., Vera J. H. PRSV: The Stryjek-Vera modification of the Peng-Robinson equation of state. Parameters for other pure compounds of industrial interest // Canadian Journal of Chemical Engineering.- 1989.-Vol.67 (1). - P.170-173. DOI 10.1002/cjce.5450670125

18. AACE International Recommended Practice No.18R-97: Cost Estimate Classification System-As Applied In Engineering, Procurement, And Construction For The Process Industries. AACE International – 2005. URL: https://library.aacei.org/pgd01/pgd01.shtml. Date of address: 26.05.2025

Information about the authors

Satenov K. G. - candidate of Chemical Sciences, Acting Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: satenoff@mail.ru;

Suleimen Ye.M. - Ph.D., Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business named after. K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: syerlan75@yandex.kz

Сведения об авторах

Сатенов К. Г. - к.х.н., и.о. ассоциированного профессора, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: satenoff@mail.ru;

Сулеймен Е.М. - PhD, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: syerlan75@yandex.kz.

IRSTI 61.31.57 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1134**

HYDROGEN STORAGE IN POROUS CARBON MATERIALS OBTAINED BASED ON SHUBARKOL COAL

[1,2,3]M.K. Kazankapova✉, [1,2,3]B.T. Yermagambet, [1,2,3]Zh.M. Kassenova, [2]B.A. Kapsalyamov, [1,2]A.B. Malgazhdarova, [1,3]Zh.T. Dauletzhanova, [1,2]U.M. Kozhamuratova, [1,2]G. K. Mendaliyev, [1]A.S. Akshekina

[1]«Institute of Coal Chemistry and Technology» LLP, Astana, Kazakhstan,
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[3]Kazakh university of technology and business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan
✉Corresponding author: coaltech@bk.ru, maira_1986@mail.ru

The aim of the research work was to study the hydrogen sorption properties of carbonized adsorbents obtained from coal from the Shubarkol deposit in Kazakhstan. The adsorbents were prepared by heat treatment with K_2CO_3. The morphological features of the obtained adsorbents were determined by the SEM method. The structure of the materials was confirmed using transmission electron microscopy (TEM). The results of the studies showed the largest specific surface area (653.024 m²/g), which determines its effective hydrogen sorption capacity. The adsorption-desorption isotherm of mesopores of the powdered carbonized adsorbent "Shubarkol:K_2CO_3" 1:0.5, 900ºC refers to a type I microporous material. The adsorption-desorption isotherm of the powdered carbonized adsorbent "Shubarkol:K_2CO_3" 1:1, 900ºC indicates that it has a macroporous or uneven solid surface of type II. In this regard, the powder "Shubarkol:K_2CO_3" 1:1 is recognized as the optimal material for storing hydrogen due to its high specific surface, developed microporous structure and ability to adsorb hydrogen.

Keywords: coal, adsorbent, porosity, carbonization, adsorption, hydrogen.

ШҰБАРКӨЛ КӨМІРІ НЕГІЗІНДЕ АЛЫНҒАН КЕУЕКТІ КӨМІРТЕКТІ МАТЕРИАЛДАРДА СУТЕКТІ САҚТАУ

[1,2,3]М.Қ. Қазанқапова✉, [1,2,3]Б.Т.Ермағамбет, [1,2,3]Ж.М. Касенова, [2]Б.А.Капсалямов, [1,2]А.Б. Малғаждарова, [1,3]Ж.Т. Даулетжанова, [1,2]Ұ.М. Қожамұратова, [1,2]Г.К. Мендалиев, [1]Ә.С. Акшекина

[1]«Көмір химиясы және технология институты» ЖШС, Астана, Қазақстан,
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: coaltech@bk.ru, maira_1986@mail.ru

Зерттеу жұмысы Қазақстанның «Шұбаркөл» кен орнының көмірінен алынған карбонизацияланған адсорбенттерінің сутегіні сорбциялау қасиеттерін зерттеуге арналған. Адсорбенттерді K_2CO_3-мен өңдеп, термиялық процесс арқылы дайындалды. Алынған адсорбенттердің морфологиялық ерекшеліктері СЭМ әдісі арқылы анықталып. Өткізгіш электрондық микроскоп (ӨЭМ) әдісі арқылы материалдардың құрылымы дәлелденді. Зерттеу нәтижелері бойынша ең үлкен меншікті бетінің ауданы (653.024 м²/г) көрсетті, бұл оның сутекті тиімді адсорбциялау қабілетін айқындайды. «Шұбаркөл:K_2CO_3» 1:0,5, 900ºC ұнтақталған карбонизацияланған адсорбентінің мезо кеуектерінің адсорбция-десорбция изотермасым I типке микрокеуекті материалға жатады. «Шұбаркөл:K_2CO_3» 1:1, 900ºC ұнтақталған карбонизацияланған адсорбентінің адсорбция-десорбция изотермасым II типке макрокеуекті немесе тегіс емес қатты бетке ие екенін көрсетеді. Осыған байланысты «Шұбаркөл:K_2CO_3» 1:1 ұнтағы жоғары меншікті бетінің ауданына, дамыған микрокеуекті құрылымына және сутекті сіңіру қабілетіне байланысты сутегін сақтау үшін оңтайлы материал болып танылды.

Түйін сөздер: көмір, адсорбент, кеуектілік, карбонизация, адсорбция, сутегі.

ХРАНЕНИЕ ВОДОРОДА В ПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ШУБАРКУЛЬСКОГО УГЛЯ

[1,2,3]М.К. Казанкапова, [1,2,3]Б.Т. Ермағамбет, [1,2,3]Ж.М. Касенова, [2]Б.А. Капсалямов, [1,2]А.Б. Малғаждарова, [1,3]Ж.Т. Даулетжанова, [1,2]Ұ.М. Қожамұратова, [1,2]Г.К. Мендалиев, [1]Ә.С. Акшекина

[1]ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан,
[2]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mail: coaltech@bk.ru, maira_1986@mail.ru

Целью научно-исследовательской работы было изучение водородосорбционных свойств карбонизированных адсорбентов, полученных из угля месторождения «Шубарколь» Казахстана. Адсорбенты были приготовлены путем термической обработки с K_2CO_3. Методом СЭМ определены морфологические особенности полученных адсорбентов. Структура материалов была подтверждена с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). По результатам исследований показана наибольшая удельная поверхность (653,024 м²/г), что определяет его эффективную водородосорбционную способность. Изотерма адсорбции-десорбции мезопор порошкообразного карбонизированного адсорбента «Шубарколь:K_2CO_3» 1:0,5, 900ºС относится к микропористому материалу I типа. Изотерма адсорбции-десорбции порошкообразного карбонизированного адсорбента «Шубарколь:K_2CO_3» 1:1, 900ºС свидетельствует о том, что он имеет макропористую или неровную твердую поверхность II типа. В связи с этим порошок «Шубаркол:K_2CO_3» 1:1 признан оптимальным материалом для хранения водорода благодаря высокой удельной поверхности, развитой микропористой структуре и способности поглощать водород.

Ключевые слова: уголь, адсорбент, пористость, карбонизация, адсорбция, водород.

Introduction. There is a growing interest in renewable energy sources as a global strategy towards net-zero carbon emissions [1]. This is evident from a massive utilization of renewable energy sources to produce electricity in some parts of Europe [2]. More recently, the use of hydrogen as a clean alternate fuel has seen remarkable interest from the relevant stakeholders and the scientific community [3-5].

There are main four ways to store of hydrogen: liquefaction, compressed gas, metal hydrides, and adsorption. So far researches on hydrogen storage shows that pressurized tank (gaseous H_2), liquid hydrogen, metal hydride (solid hydrogen) and cryoadsorption (condensed phase of H_2) are the most promising alternatives. The hydrogen adsorption in porous solids and specially activated carbons, is still considered one interesting and safe alternative. Initially, carried out researches were based on the use of cryogenic systems, which are not useful from an economic point of view. Recently, research has focused on the search for the ideal adsorbent that can be used at room temperature as well as allows the storage of interesting amounts of H_2 such as activated carbons [6].

Nowadays, the hydrogen industry in Kazakhstan is in its infancy. Nevertheless, Kazakhstan is making significant strides in the field of hydrogen technol-ogies and production. In January 2023, President Kassym-Jomart Tokayev of Kazakhstan described green hydrogen as a ”promising direction” [7].

Hydrogen storage in carbon-based materials is considered a viable solution to increase hydrogen density, which is currently a major problem hindering the hydrogen supply chain, which becomes denser when stored in a porous solid as opposed to pure compressed gas.[8] The hydrogen density stored in nanoporous carbon materials can be approximated to the density of liquid hydrogen, i.e., 70 kg/m^3. To achieve such a value, which is four orders of magnitude higher than the density of gaseous hydrogen at room temperature and atmospheric pressure (0.089 kg/m^3), the system temperature needs to be significantly reduced. For example, at 77 K, hydrogen adsorption improves

due to enhanced interaction with the carbon surface via van der Waals forces. Thus, adsorption is the most effective storage method at 298 K and up to 20 MPa. This means that under these conditions, the amount of hydrogen stored is always higher in the presence of the adsorbent than in the case of hydrogen storage by simple compression in an empty vessel of the same volume. Therefore, based on carbon, storage will allow the use of a smaller volume hydrogen tank. Indeed, if 5 kg of hydrogen can be stored at 20 MPa and 298 K in an empty high-pressure tank of 340 L, the required volume decreases to 263 L in the presence of a carbon adsorbent for storing the same amount of hydrogen under the same conditions. Such advantages are provided by the unique texture of porous carbon [9].

Activated carbons are one of the widespread used porous carbon materials which usually have specific surface areas up to 3000 m^2/g^{-1} and wide pore sizes ranging from micropore to mesopore and even macropore, but with abundance of micropore size less than 1 nm. The highly developed porosity makes activated carbon a promising candidate for adsorption, separation, purification and gas storage, especially for hydrogen storage. In general, the hydrogen storage capacity of activated carbon has appeared to be proportional to the surface area and micropore volume. Experimental findings showed hydrogen uptake values in the range of 0.2–5.5 wt%, with a clear dependency on the activated carbons evaluated. Moreover, the majority of experimental results have demonstrated that H_2 uptakes of about 2.5 wt% at low pressures (1–10 bar) and 5.5 wt% at high pressures (up to 60 bar) and 77 K were achievable. Again, the highest H_2 adsorption measured at 100 bar and room temperature is below 1 wt%, even with highly developed pore structures and specific surface areas up to 2800 m^2/g^{-1} [10-13].

The hydrogen storage methods motivated us to study hydrogen adsorption on several porous carbon adsorbents of various origins that differed in the porous structure and chemical state of the surface at the near ambient temperatures and not-extreme high pressures. Therefore, this study was aimed to determine the factors affecting the efficiency of hydrogen adsorption-based storage with AC as an adsorbent, namely the influence of thermodynamic conditions and structural and energy characteristics.

Materials and methods. There are various approaches to producing carbon materials, which include the preparation and modification of the initial coal, carbonization, and subsequent activation using gas or chemical agents. One of the promising methods for obtaining porous carbon materials from carbonaceous feedstock is the use of activating agents during thermal processing. When in contact with salt, the lignite structure begins to rearrange even at room temperature, and upon heating, the salt promotes the development of specific surface area, as well as an increase in total pore volume and micropore volume. K_2CO_3 is considered a more effective activating agent compared to Na_2CO_3. The enhanced efficiency of K_2CO_3 is attributed to the larger ionic radius of potassium (0.267 nm) in comparison to that of sodium (0.190 nm). The activation atmosphere (N_2, CO_2, or H_2O) also influences the structural properties of the activated carbon. It has been found that, compared to CO_2 and steam, nitrogen serves as a good alternative as an activation medium. Increasing the mass ratio of salt to coal, the heating temperature, and the holding time leads to higher porosity and a larger specific surface area of the resulting carbon.

The experimental setup and procedure (hydrogen adsorption) were as follows: The hydrogen saturation unit for porous carbon material consisted of several sections. The hydrogen source was a QL 500 series hydrogen generator with a maximum output of 500 cm^3/min, and the hydrogen generator used water from a Thermo Scientific deionizer. The total flow rate was monitored using a rotameter.

An autoclaved glass reactor with a working volume of up to 0.5 liters was used as a laboratory reactor. The reactor vessel base has stainless steel legs. The reactor vessel design is based on a glass cylinder, which is fixed between the top cover and the metal bottom with a bottom drain valve. Temperature control is achieved by circulating thermostatically controlled water through a jacket

at the bottom of the reactor.

The pressure was measured every minute. The initial pressure was -0.75 bar, and a vacuum environment was created using a pump. The H_2 absorption process was carried out at temperatures of 298 K, 313 K, 343 K. The mass of the porous carbon material was 97 g. The process was continued until the pressure in the reactor reached a constant value. The absorption capacity was calculated from the gas balance (based on the measured amount of H_2 and the known gas flow rate).

The aim of the work is to study the method for obtaining carbon sorbents from oxidized coal ”Shubarkol” with a developed structure and high adsorption characteristics, as well as the use of the obtained adsorbents for hydrogen storage.

Chemical analysis and surface morphology were studied by energy-dispersive X-ray spectroscopy using a SEM (Quanta 3D 200i) with an EDAX energy-dispersive analysis attachment. Specific surface area analysis was performed using a 3Flex 3500 high-performance adsorption analyzer (Micromeritics, USA) with a standard SmartVacprep programmable degasser.

Results and discussion. The results of the physicochemical characteristics of the samples and the elemental composition are presented in Tables 1 and 2.

Table 1 - Results of physicochemical analysis of ”Shubarkol/K_2CO_3” 1:0.5; 1:1 adsorbents

Name of adsorbents	W^r_t,%	A^r,%	V^d, %	$V\Sigma_{(water)}$, cm^3/g	ρ_{bulk}, g/cm^3	$pH_{aqueous\ extract}$	$A_{m.o.}$, mg/g	$A_{m.b.}$, mg/g
”Shubarkol-K2CO3” (1:0.5, 900°C) powder carbonized adsorbent	12.73	8.83	52.95	1.63	0.76	7.41	33.23	34.31
”Shubarkol-K2CO3” (1:1, 900°C) powder carbonized adsorbent	11.45	8.85	51.25	1.83	0.72	7.05	38.45	40.12

Table 2 - Results of the elemental analysis of the samples

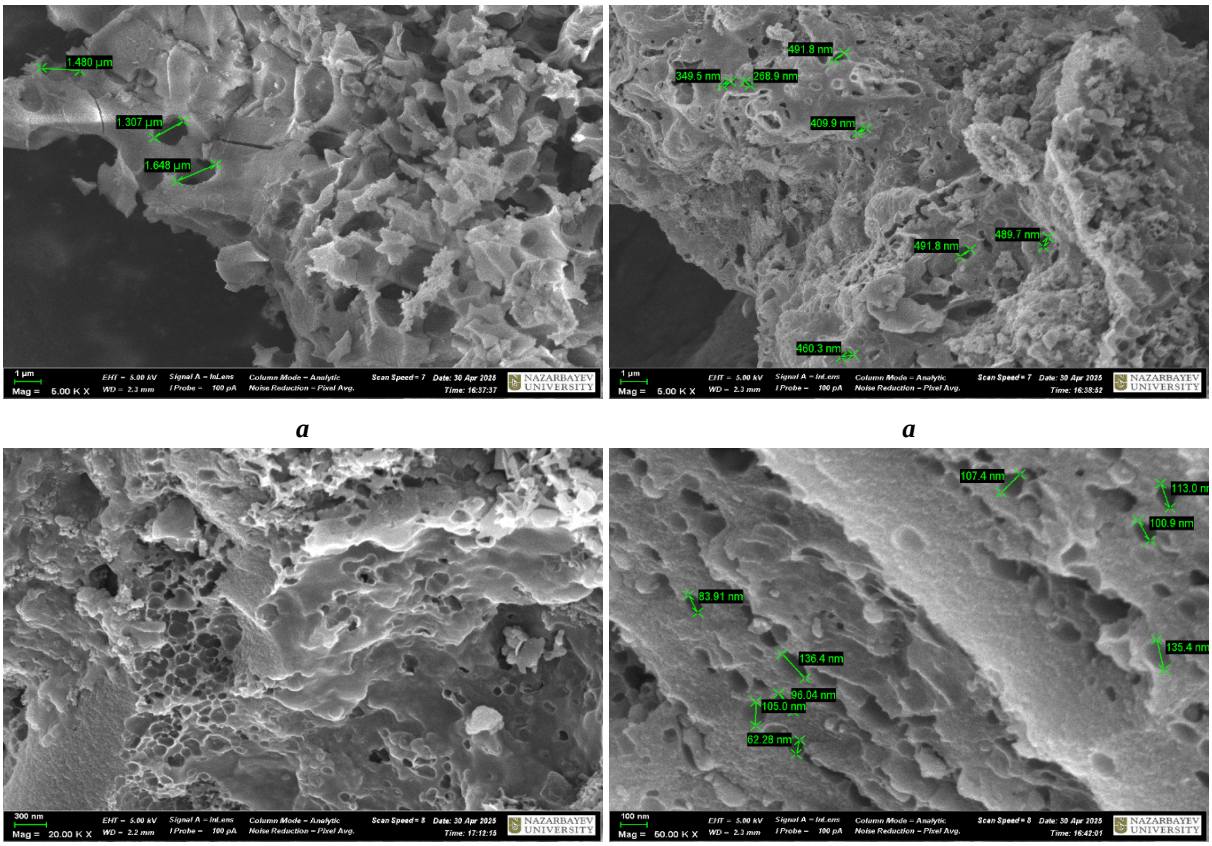
Name	Elemental content, mass %									
	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe
”Shubarkol-K2CO3” (1:0.5, 900°C) powder carbonized adsorbent	53.01	18.69	0.27	0.35	1.81	1.07	0.44	11.56	6.70	6.10
”Shubarkol-K2CO3” (1:1, 900°C) powder carbonized adsorbent	68.24	13.88	0.15	0.54	1.01	1.03	0.31	1.53	8.28	5.03

The physicochemical properties of porous carbon materials obtained as a result of the carbonization process were determined by the adsorption capacity according to methylene blue and methyl orange indicators. As a result, the adsorbent ”Shubarkol-K_2CO_3” in the ratio of 1:1 showed a relatively high adsorption capacity. In terms of elemental composition, the adsorbent in the ratio of 1:1 had a higher carbon content. The higher the carbon content, the more porous the adsorbent obtained and the more suitable it is for further use as an adsorbent.

The morphology of the obtained adsorbents was investigated at various scales using scanning electron microscopy (SEM). Figures 1 and 2 show

the results of SEM analysis of the ”Shubarkol-K_2CO_3” 1:0.5 900°C powder carbonized adsorbent and the ”Shubarkol-K_2CO_3” 1:1 900°C powder carbonized adsorbent.

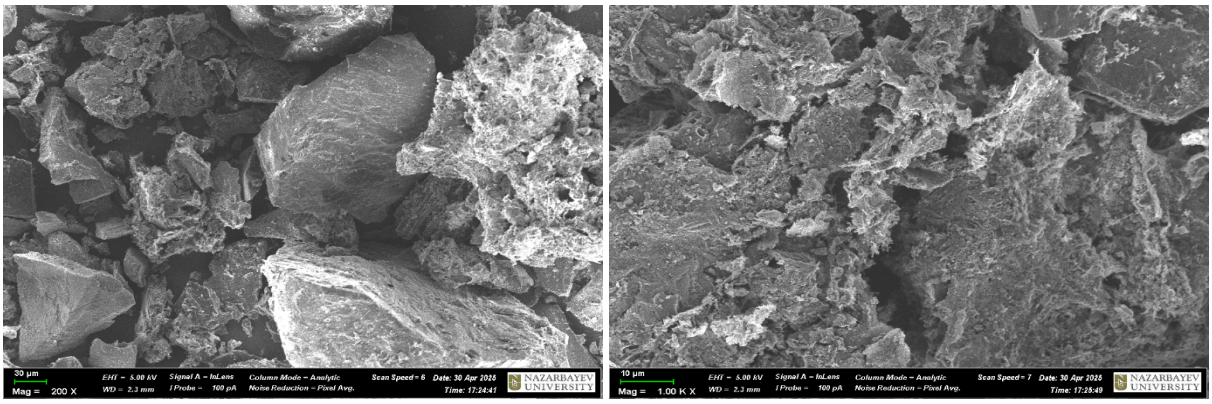
As a result of the SEM study, porous structures consisting of large and small particles are clearly visible in the samples carbonized at a temperature of 900°C. It is known that the presence of developed micropores on the surface layer contributes to an increase in the adsorption capacity. Figures 3 and 4 show the results of TEM analysis of the ”Shubarkol-K_2CO_3” 1:0.5 900°C powder carbonized adsorbent and the ”Shubarkol-K_2CO_3” 1:1 900°C powder carbonized adsorbent.



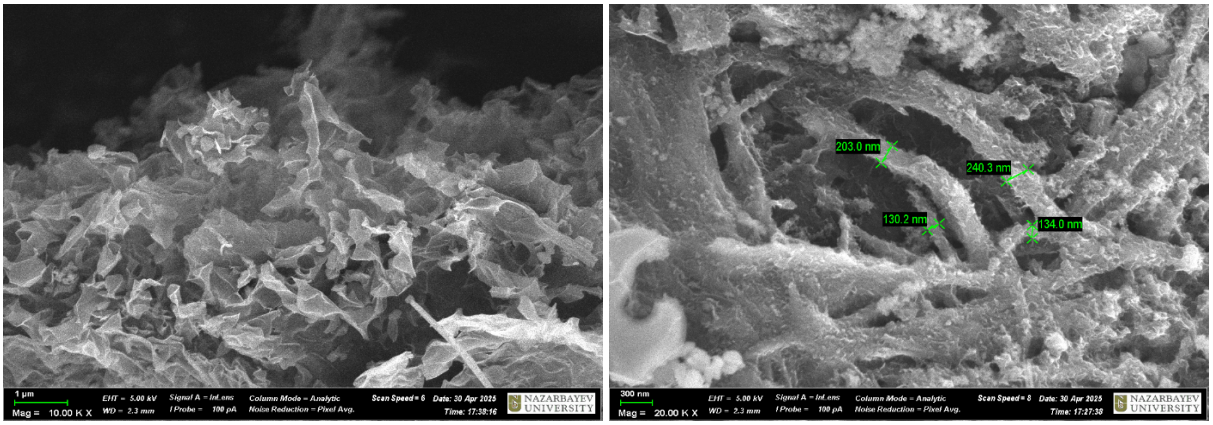
a ***a***

a ***a***

Fig.1 - SEM results of the powder carbonized adsorbent ”Shubarkol-K_2CO_3” 1:0.5 at 900°C: a,b-x5000; c-x20000; d-x50000

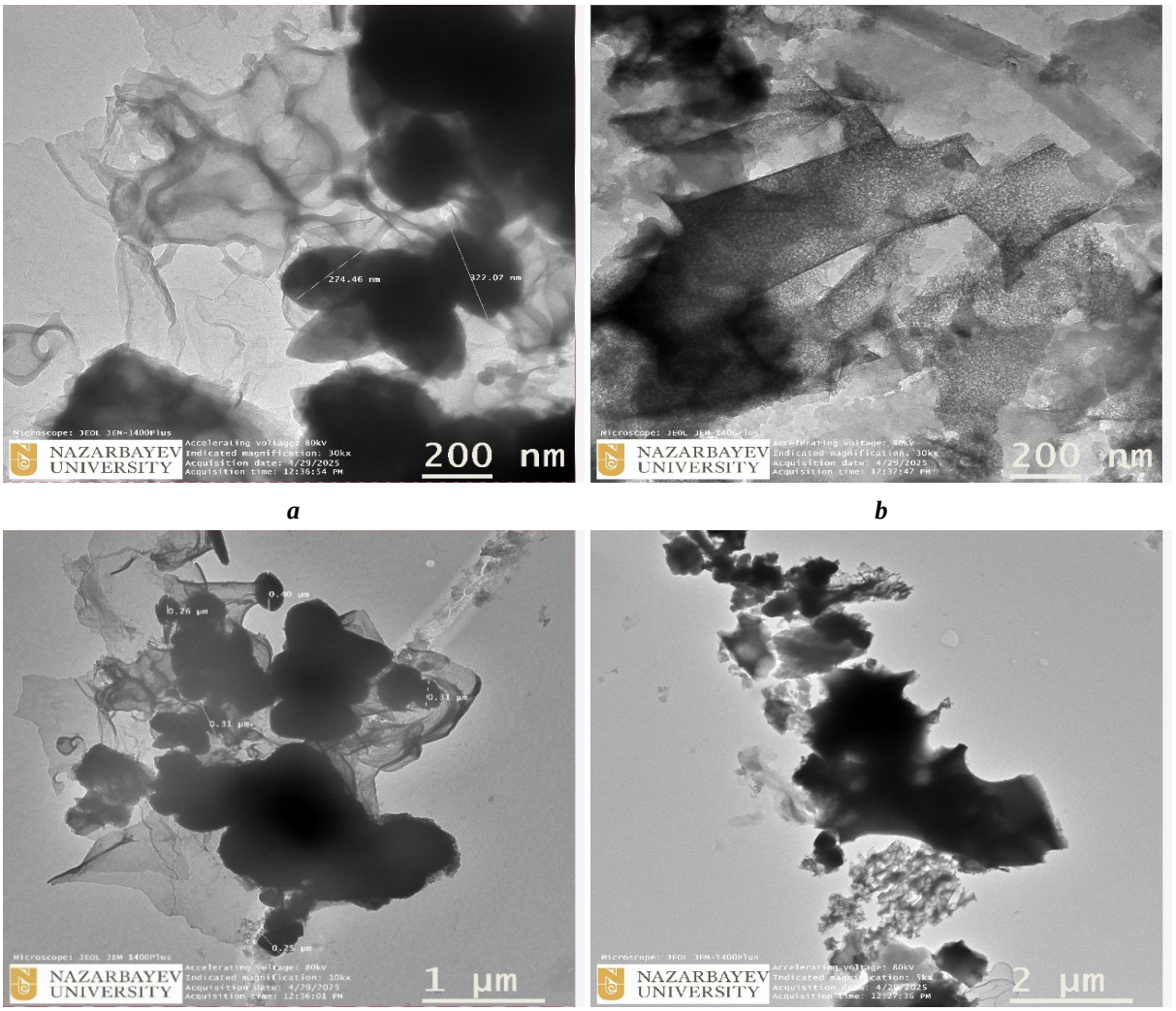


a ***b***



c *d*

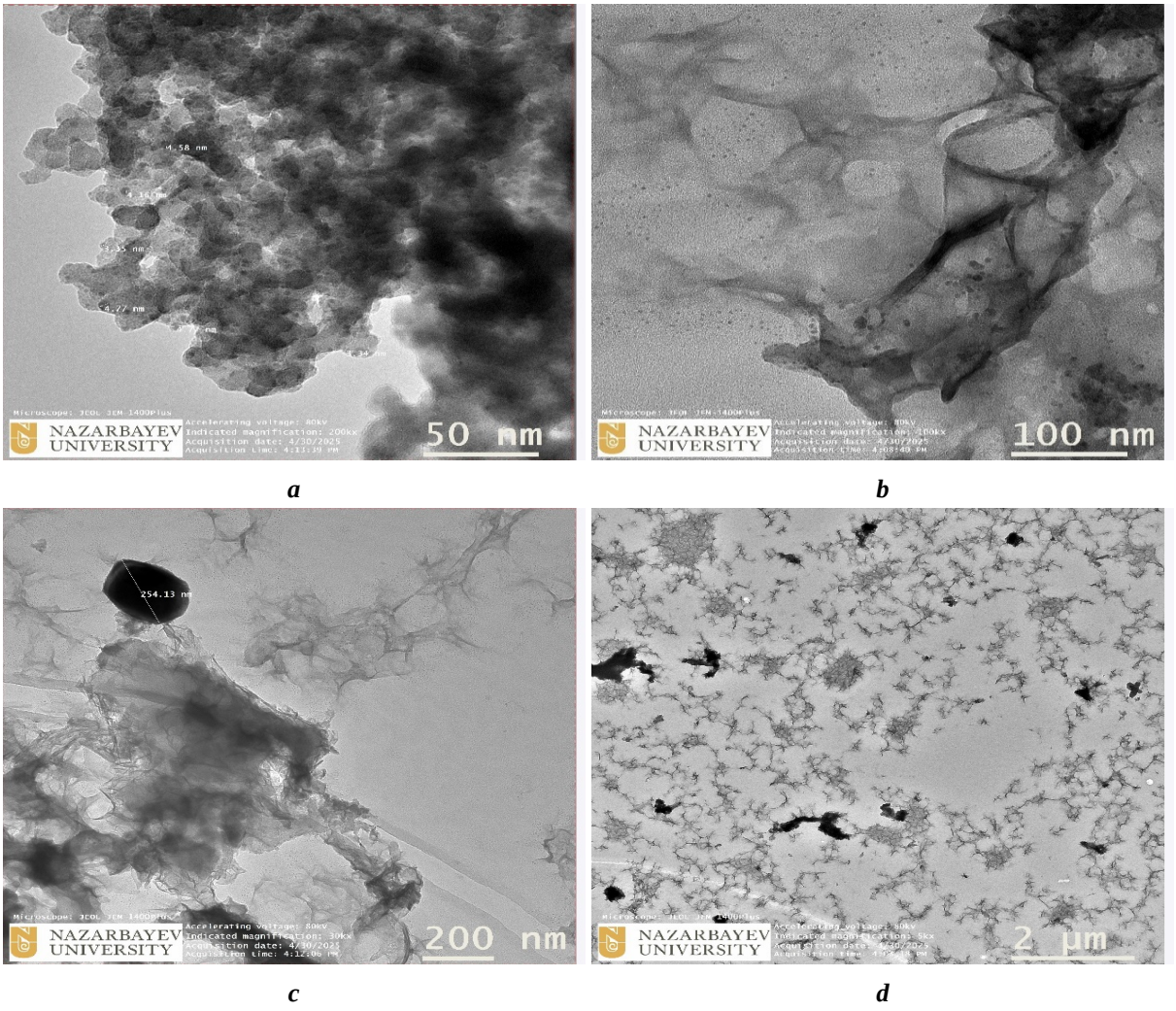
Fig.2 - SEM results of the powder carbonized adsorbent ”Shubarkol-K_2CO_3” 1:1 at 900°C: a-x200; b-x1000; c-x10000; d-x20000



a *b*

c *d*

Fig.3 - TEM results of the powder carbonized adsorbent ”Shubarkol-K_2CO_3” 1:0.5 at 900°C



a *b*

c *d*

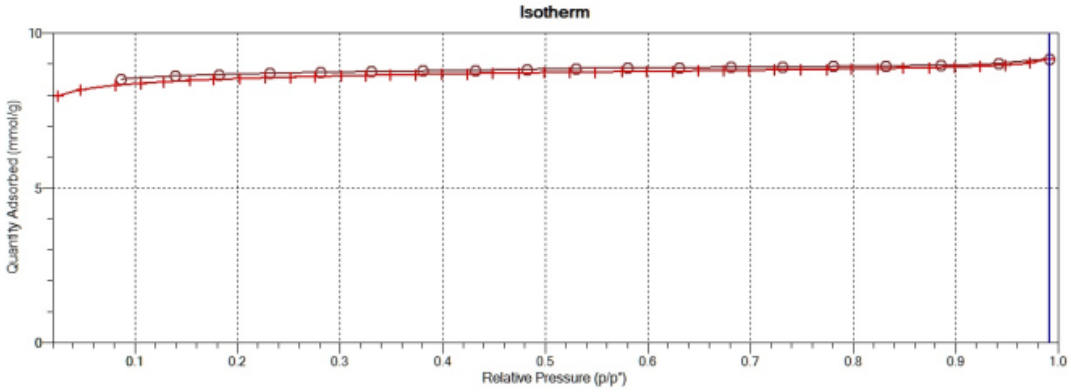
Fig.4 - TEM results of the powder carbonized adsorbent ”Shubarkol-K_2CO_3” 1:1 at 900°C

Table 3 - Adsorption characteristics of samples (N_2)

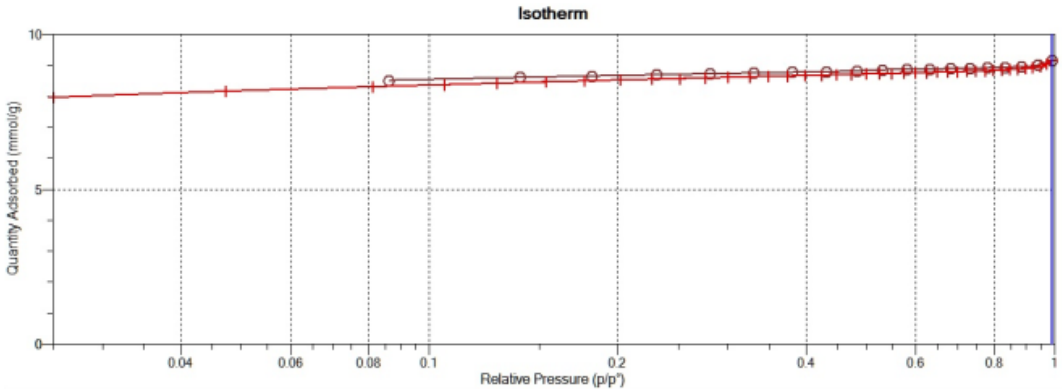
Name	SBET, m^2/g	Total pore volume, cm^3/g	Micro pores, cm^3/g	Meso pores, cm^3/g	Macro pores, cm^3/g	SBJH, for pore width from 17,000 Å to 3,000,000 Å, m^2/g	Average width of adsorption pores BJH (4V/A), Å
”Shubarkol-K2CO3” (1:0.5, 900°C) powder carbonized adsorbent	676.889	0.318	0.276	0.036	0.006	42.2087	37.616
”Shubarkol-K2CO3” (1:1, 900°C) powder carbonized adsorbent	653.024	0.435	0.205	0.183	0.048	137.2048	62.144

The results of the TEM images provide clear images of the internal structure of the carbon adsorbent. As shown in Figure 3, the particles are assembled in the form of large agglomerates, and at their edges there are clearly visible graphitized layers and curved structures. These graphitized structures may increase the

thermal stability of the adsorbent. The images presented in Figure 4 show the formation of nanostructured particles, as well as clearly visible flaky and layered structures. This indicates that the carbonization process contributed to the formation of nanoparticles with different morphologies within the carbon matrix. In general, the obtained microscopic data indicate that the carbon materials synthesized using Shubarkol coal and K_2CO_3 are highly structured, multi-porous and nanostructured. Such properties allow these adsorbents to be effectively used in gas or hydrogen storage.

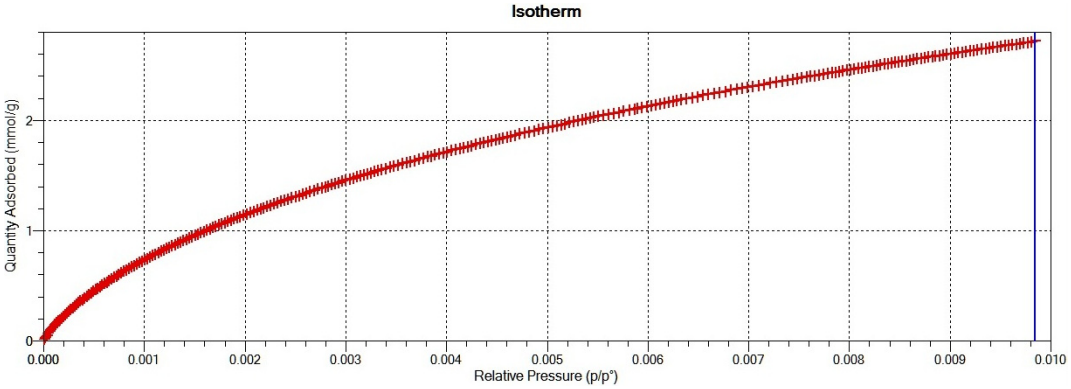


a

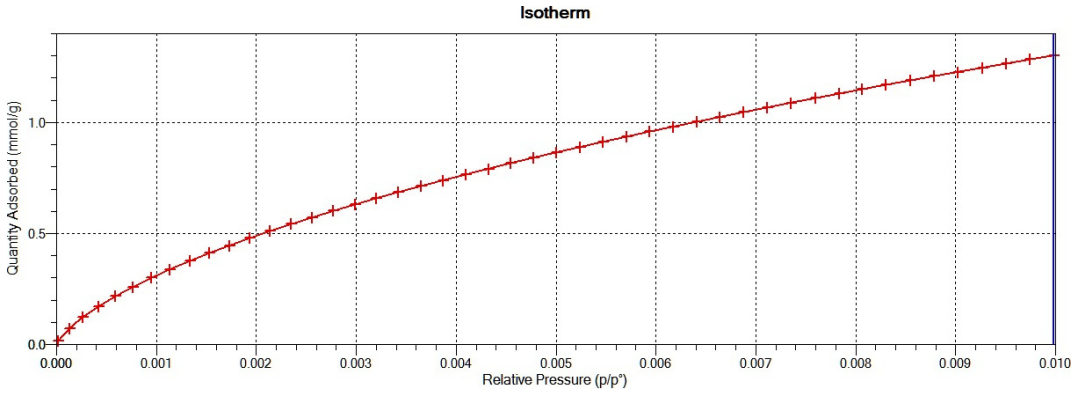


b

Fig.5 - Adsorption curves of the powder carbonized adsorbent ”Shubarkol-K_2CO_3” a-1:0.5; b-1:1 (based on N_2, by the BET method)



a



b

Fig.6 - Adsorption curves of the powder carbonized adsorbent ”Shubarkol-K_2CO_3” a-1:0.5; b-1:1 (based on CO_2)

Table 4 – Results of the study of sorption of PCM (by CO_2)

Name	Dubinin-Radushkevich method			Dubinin-Astakhov method			
	Maximum capacity of micropores, mmol/g	Maximum volume of micropores, cm^3/g	Equivalent surface area, m^2/g	Maximum capacity of micropores, mmol/g	Micropore volume limitation, cm^3/g	Equivalent surface area, m^2/g	Average equivalent pore width, Å
”Shubarkol-K2CO3” (1:0.5, 900°C) powder carbonized adsorbent	7.9279	0.377916	811.635593	8.68047	0.413789	1359.46542	10.93346
”Shubarkol-K2CO3” (1:1, 900°C) powder carbonized adsorbent	4.3212	0.205985	442.386469	9.96985	0.475252	1308.89576	14.52375

As a result, the types of adsorption-desorption isotherms of the obtained adsorbents were determined and a conclusion was drawn. The adsorption-desorption isotherm of the mesopores of the powdered carbonized adsorbent “Shubarkol:K_2CO_3” 1:0.5, 900ºC belongs to type I. The isotherm of the obtained sample belongs to type I - this is a microporous material. The adsorption-desorption isotherm of the powdered carbonized adsorbent “Shubarkol:K_2CO_3” 1:1, 900ºC belongs to type II. The isotherm of the obtained sample belongs to type II - this type indicates that the adsorbent has a macroporous or uneven solid surface.

The time dependence of hydrogen adsorption was determined using a laboratory device for powdered carbonized adsorbents ”Shubarkol:K_2CO_3” 1:0.5; 1:1 900 ºC. During the study, the dynamics of the hydrogen adsorption process on porous carbon materials at temperatures of 298 K, 313 K, 343 K were studied. The time dependence of the amount of adsorbed hydrogen was considered, which allows

us to get an idea of the speed and efficiency of the hydrogen adsorption process. Analysis of the hydrogen adsorption rate at each time interval showed that the adsorption rate increases at the beginning of the process, reaching a maximum of 23 minutes at T=298 K, 18 minutes at T=313 K and 12 minutes at T=343 K, and then gradually stabilizes. This may indicate saturation of the adsorbent surface and a decrease in active centers available for hydrogen adsorption. The results of the study are shown in Table 5.

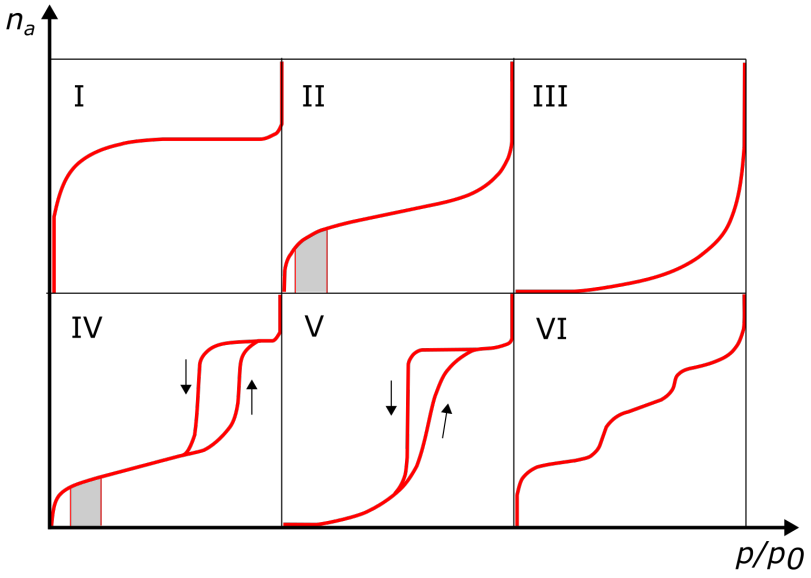


Fig.7 - Types of adsorption-desorption isotherms

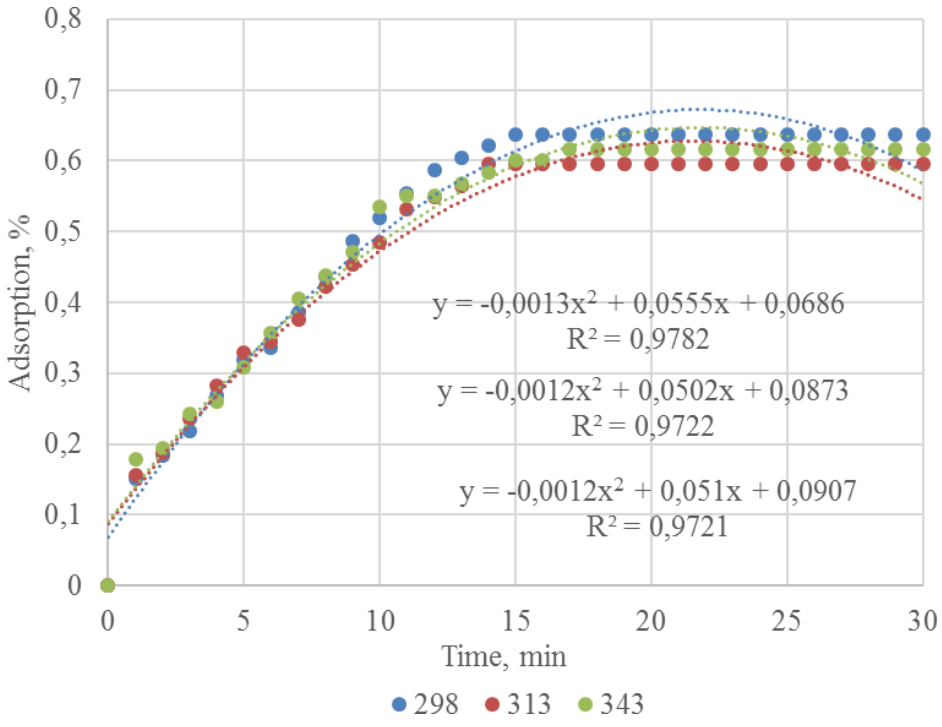


Fig.8 - Dynamics of hydrogen adsorption process on porous carbon material ”Shubarkol:K_2CO_3” 1:0.5 at temperatures of 298 K, 313 K, 343 K

Table 5 - Results of the study of hydrogen sorption with PCM

”Shubarkol-K_2CO_3” (1:0.5, 900°C) powder carbonized adsorbent		
Temperature	Adsorption H_2, %	Adsorption H_2, cm^3/kg
25 ºC	0.637538	0.714043
40 ºC	0.595036	0.666440
70 ºC	0.616287	0.690241
”Shubarkol-K_2CO_3” (1:1, 900°C) powder carbonized adsorbent		
Temperature	Adsorption H_2, %	Adsorption H_2, cm^3/kg
25 ºC	0.727543	0.814849
40 ºC	0.679041	0.760525
70 ºC	0.703292	0.787687

Table 6 - Calculation of the hydrogen adsorption process on porous carbon material ”Shubarkol:K_2CO_3” 1:0.5, %

Temperature, K	**Time, min**			
	10	**12**	**14**	**16**
273	0.350	0.557	0.786	1.037
278	0.318	0.524	0.754	1.008
283	0.288	0.494	0.725	0.982
288	0.261	0.466	0.699	0.960
293	0.235	0.441	0.677	0.941
298	0.211	0.419	0.657	0.926
303	0.189	0.399	0.640	0.914
308	0.169	0.381	0.627	0.907
313	0.152	0.367	0.617	0.902
318	0.136	0.354	0.610	0.902
323	0.122	0.345	0.606	0.905
328	0.110	0.338	0.605	0.911
333	0.100	0.333	0.607	0.922
338	0.093	0.331	0.612	0.936
343	0.087	0.332	0.621	0.953
348	0.083	0.335	0.632	0.974
353	0.081	0.341	0.647	0.999
358	0.081	0.350	0.665	-
363	0.084	0.361	0.686	-

368	0.088	0.374	0.710	-
373	0.094	0.390	0.737	-
378	0.102	0.409	0.768	-

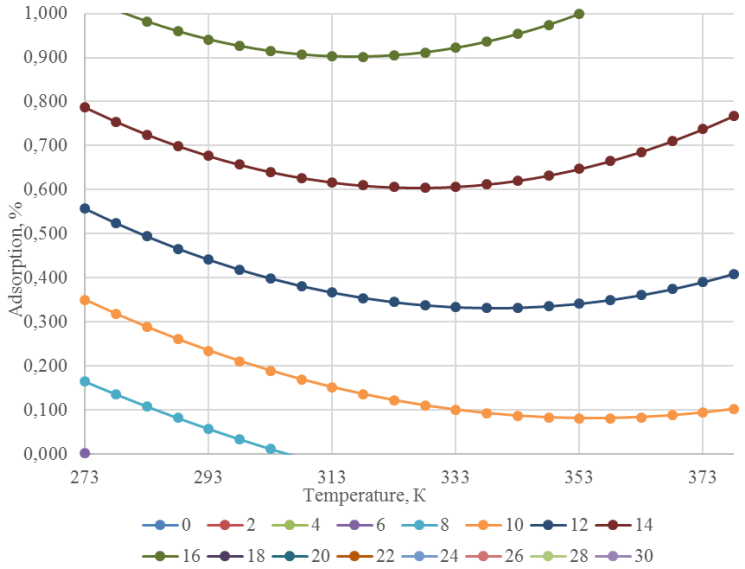


Fig.9 - Dynamics of hydrogen adsorption process on porous carbon material of ”Shubarkol:K_2CO_3” 1:0.5 adsorbent

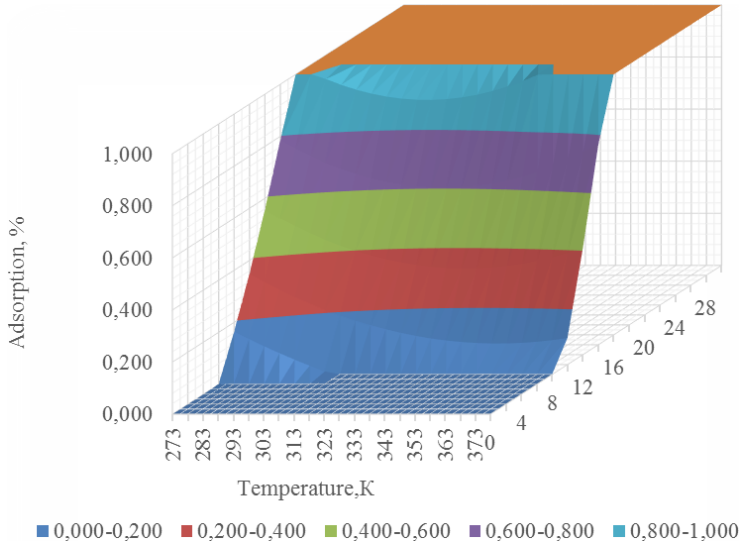


Fig.10 - Dynamics of the process of hydrogen adsorption on porous carbon material ”Shubarkol:K_2CO_3 1:0.5”

This porous carbon from Shubarkol coal (chemical activation K_2CO_3 1:0.5) is capable of absorbing up to ~0.8 wt% hydrogen at room temperature (~298 K) for ~15 minutes, indicating its suitability for rapid hydrogen sorption. Increasing the temperature to 343 K reduces the adsorption threshold by about 10% relative to 298 K, confirming the negative effect of temperature

on hydrogen storage in carbonaceous materials. Thus, for maximum hydrogen adsorption efficiency, low temperatures and sufficient retention times (about 15 minutes to saturation) are suitable for this material. These results may be useful when designing hydrogen storage systems, indicating the need to cool the adsorbent to increase its capacity and take into account the kinetic characteristics of pore filling.

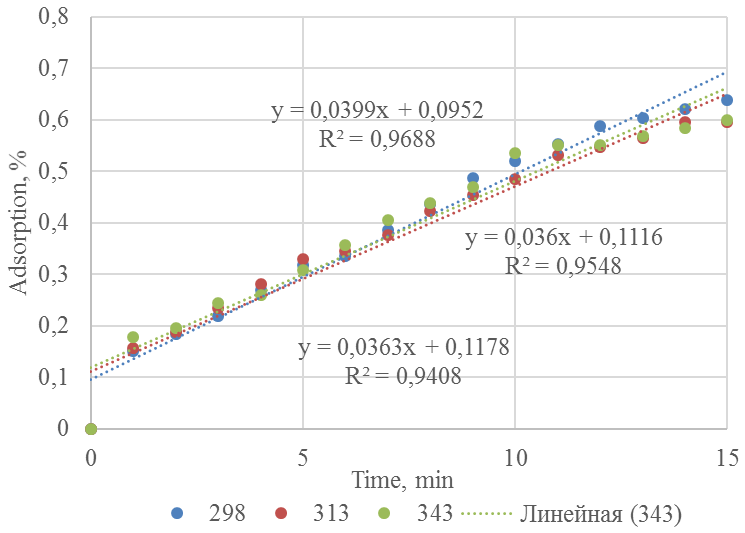


Fig.11 - Dynamics of hydrogen adsorption process at temperatures of 298 K, 313 K, 343 K on a porous carbon material weighing 97 g

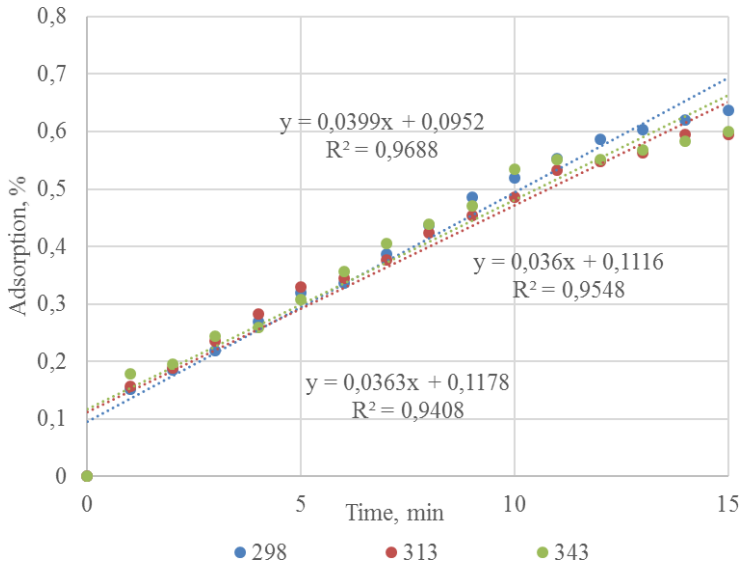


Fig.12 - Dynamics of the process of hydrogen adsorption on porous carbon material ”Shubarkol:K_2CO_3 1:0.5” at temperatures of 298 K, 313 K, 343 K

If we calculate it in a similar way, the activation energy of hydrogen adsorption on this carbon material is approximately -1.6 kJ/mol–1.6 kJ/mol. The negative value of Ea indicates that the adsorption rate decreases with increasing temperature. This behavior is typical of exothermic processes of physical adsorption: as the temperature increases, it becomes more difficult for molecules

to attach to the surface, and the efficiency of adsorption by the adsorbate decreases. A practically negative (close to zero) activation energy indicates the absence of a significant energy barrier for adsorption - the process proceeds practically without an activation limit, and the slight decrease in the rate with increasing temperature is due to thermodynamic factors (weakening of the binding to the adsorbate). Based on the Arrhenius plot and linear regression, the calculated activation energy of hydrogen adsorption is approximately 1.6 kJ/mol (with a minus sign). This is a very low absolute value, close to zero, which is consistent with the idea of physical adsorption of hydrogen on porous carbon without a significant energy barrier.

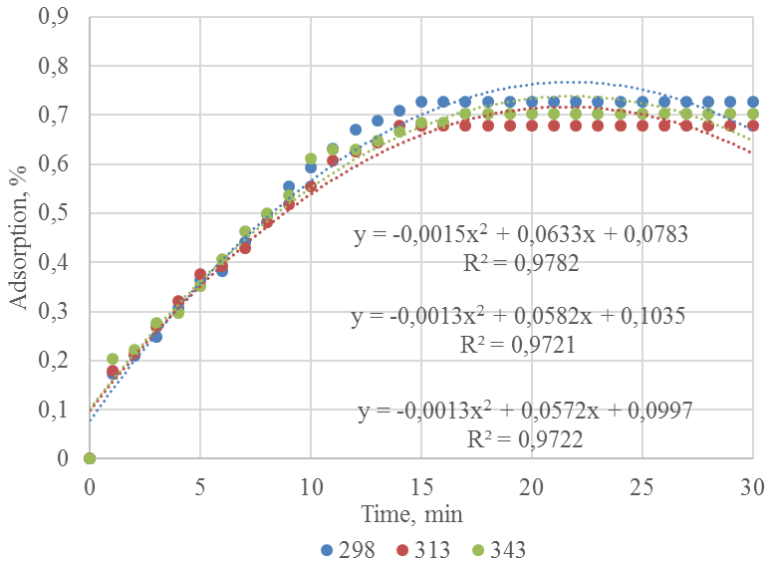


Fig.13 - Dynamics of hydrogen adsorption process on K_2CO_3 1:1 porous carbon material of ”Shubarkol” coal at temperatures of 298 K, 313 K, 343 K

Table 7 - Dynamics of the hydrogen adsorption process in porous carbon material of coal ”Shubarkol:K_2CO_3 1:1”, %

Temperature, K	Time, min									
	0	1	3	7	10	15	19	22	25	30
273	0	0	0.104	0.302	0.432	0.615	0.731	0.799	0.853	0.907
280	0	0.004	0.099	0.274	0.392	0.564	0.679	0.752	0.815	0.894
287	0	0.012	0.094	0.248	0.355	0.517	0.632	0.710	0.780	0.880
294	0	0.017	0.088	0.225	0.322	0.476	0.590	0.671	0.748	0.867
301	0	0.021	0.083	0.204	0.294	0.440	0.554	0.637	0.720	0.854
308	0	0.022	0.077	0.186	0.269	0.409	0.522	0.608	0.694	0.840
315	0	0.022	0.070	0.170	0.248	0.383	0.496	0.583	0.672	0.827
322	0	0.020	0.064	0.157	0.231	0.362	0.474	0.562	0.654	0.814
329	0	0.016	0.057	0.146	0.218	0.347	0.458	0.546	0.638	0.801
336	0	0.009	0.050	0.138	0.209	0.336	0.446	0.534	0.625	0.787

343	0	0.001	0.043	0.133	0.204	0.331	0.440	0.526	0.616	0.774

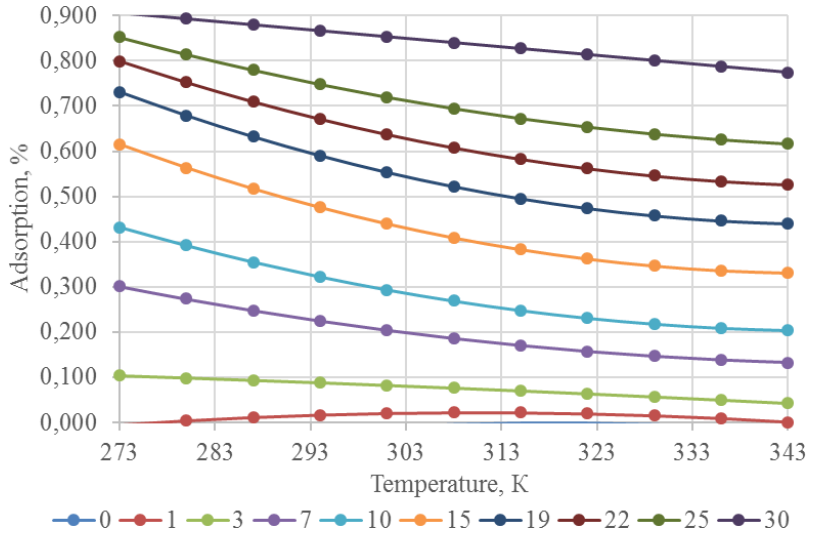


Fig.14 - Dynamics of the hydrogen adsorption process on porous carbon material of the adsorbent ”Shubarkol:K_2CO_3 1:1” 30 min

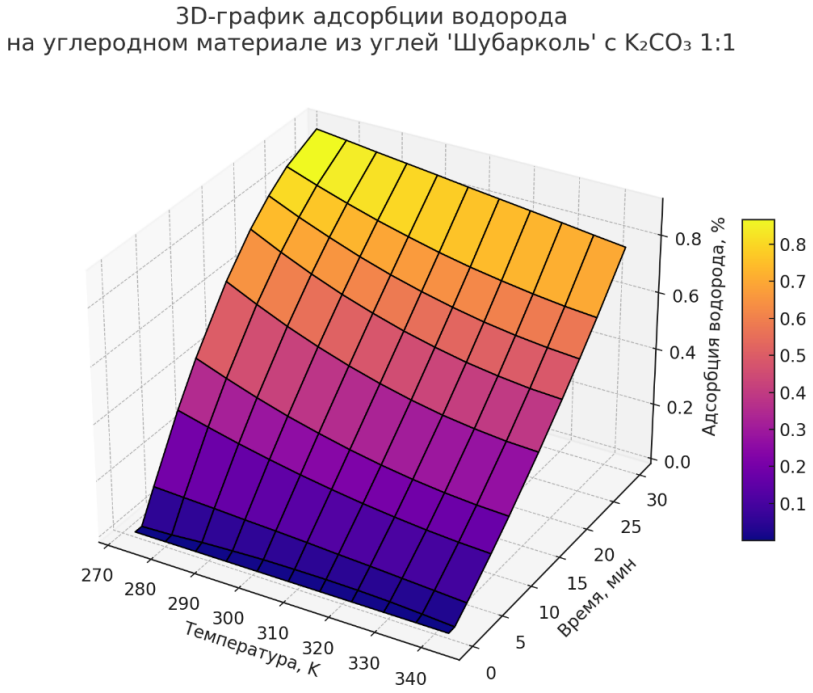


Fig.15 - Hydrogen adsorption (%) on porous carbon material containing K_2CO_3 (1:1) from ”Shubarkol” coal

In the initial stages (up to 10 minutes), the adsorption intensity increases especially rapidly. At low temperatures (273–294 K), maximum adsorption values are achieved - above 0.9%. As the temperature increases, the sorption capacity decreases, which indicates the physical nature of adsorption and possible desorption upon heating.

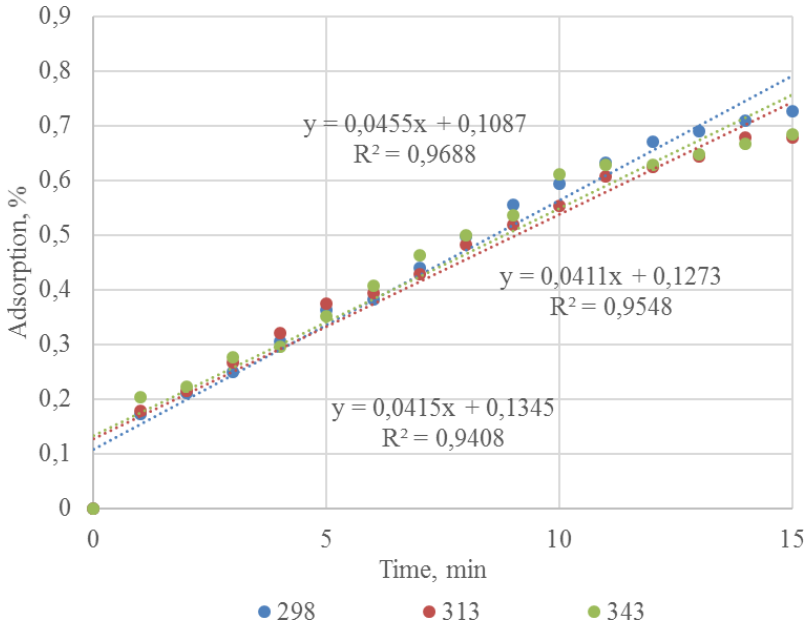


Fig.16 - Dynamics of hydrogen adsorption process on porous carbon material based on Shubarkol:K2CO3 1:1 at temperatures of 298 K, 313 K, 343 K

Table 8 - Experimental results

Temperature , K	Time, min	Adsorption, %	R^2
298	x, min	y = 0.0455*x + 0.1087	0.9688
313	x, min	y = 0.0411*x + 0.1273	0.9548
343	x, min	y = 0.0415*x + 0.1345	0.9408

Table 9 - Calculating activation energy

Temperature , K	Equation	Slope (k), %/min
298	y = 0.0455*x + 0.1087	0.0455
313	y = 0.0411*x + 0.1273	0.0411
343	y = 0.0415*x + 0.1345	0.0415

Table 10 - Data for linear approximation of the dependence of ln on 1/T

T (K)	1/T (1/K)	k (%/min)	ln(k)
298	0.003356	0.0455	-3.09004
313	0.003194	0.0411	-3.19175
343	0.002916	0.0415	-3.18206

Now let’ s find the slope for the line using the least squares method: $\ln k = -E_a/R \quad T + \ln A$

$k_1 = -Ea/R = \Delta \ln k / \Delta(1/T) = (-3{,}09004 + 3{,}11915)/(0{,}003356 - 0{,}003194)$

k_1=0,02911/0,000162≈179,69

Ea=−R k_1=−8,314 (179,69)≈ -1493,954 J/mol ≈-1,5 kJ/mol

Due to the negative activation energy, the process is thermodynamically unfavorable at high temperatures.

The highest adsorption is observed at low temperature (298 K). When the temperature increases to 313 K, the adsorption decreases slightly, which is typical of physical adsorption (which is exothermic). When further increasing to 343 K, a slight recovery of adsorption occurs, which may be due to additional activation of deeper pores or experimental error.

Table 11 - Comparative analysis

Parameter	K_2CO_3 1:1	K_2CO_3 1:0.5	Difference (%)
298 K Adsorption (cm^3/kg)	814.80	714.00	14.00%
313 K Adsorption	760.50	666.40	14.10%
343 K Adsorption	787.70	690.20	14.10%

Table 12 - Comparative analysis of adsorption, %

Temperature, K	Coal ”Shubarkol”/ K2CO3		Difference, %
	1:0,5	1:1	
298	0.637538	0.727543	12.37
313	0.595036	0.679041	12.37
343	0.616287	0.703292	12.37

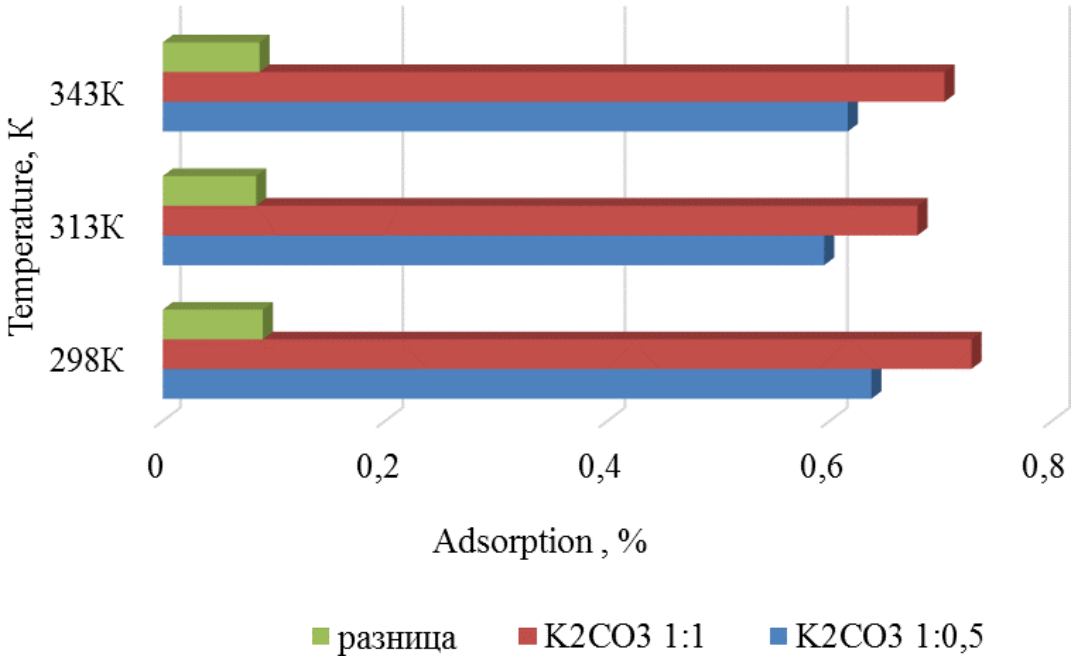


Fig.17 - Comparative analysis of hydrogen adsorption

Table 13 - Hydrogen adsorption calculation, %

Coal:K_2CO_3	Temperature, K								
	273	283	293	303	313	323	333	343	353
1:1	0.916	0.835	0.772	0.728	0.701	0.693	0.702	0.729	0.775
1:0.5	0.890	0.826	0.778	0.746	0.729	0.729	0.745	0.777	0.825
1:0.33	0.865	0.817	0.783	0.763	0.758	0.766	0.788	0.824	0.874
1:0.25	0.839	0.808	0.789	0.781	0.786	0.802	0.831	0.872	0.924
1:0.2	0.814	0.799	0.794	0.799	0.814	0.839	0.874	0.919	0.974
1:17	0.789	0.790	0.799	0.817	0.842	0.876	0.917	0.966	1.024
1:0.14	0.763	0.781	0.805	0.835	0.870	0.912	0.960	1.014	1.074
1:0.13	0.738	0.772	0.810	0.852	0.899	0.949	1.003	1.061	1.123
1:0.11	0.712	0.763	0.816	0.870	0.927	0.985	1.046	1.109	1.173
1:0.10	0.687	0.754	0.821	0.888	0.955	1.022	1.089	1.156	1.223

On average, increasing the mass fraction of K_2CO_3 from 1:0.5 to 1:1 leads to an increase in the adsorption capacity by ~14% in volume. This confirms that intensive activation of K_2CO_3 improves the sorption properties. Both materials show a characteristic physical adsorption property: high efficiency at low temperatures. At K_2CO_3:1:1, hydrogen adsorption is 10–15% higher than at 1:0.5. The difference is observed at all temperatures and is most noticeable at ~714 cm³/kg vs. ~815 at 298 K. This confirms that the high concentration of the activator (K_2CO_3) contributes to good porosity and high sorption capacity.

Conclusion. As a result of the conducted research, the physicochemical properties, morphological features, surface area of carbon adsorbents obtained using Shubarkol coal and potassium carbonate (K_2CO_3) were studied, and the hydrogen storage process was carried out in laboratory conditions. The results showed that the adsorbent "Shubarkol-K_2CO_3" (1:1, 900°C) showed the highest BET specific surface area (653.024 m²/g), which determines its ability to effectively adsorb hydrogen. TEM images confirmed the nanostructured nature of the material. Graphitized regions, layered structures, and agglomerated particles were detected. The results of scanning electron microscopy (SEM) and elemental analysis showed that carbon adsorbents have high porosity, which is an important factor improving their hydrogen storage capabilities.

The results of the conducted research can serve as the basis for the development of promising carbon adsorbents for hydrogen storage systems.

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. Tarkowski R., Czapowski G. Salt domes in Poland–Potential sites for hydrogen storage in caverns// International Journal of Hydrogen Energy.-2018. -Vol 43(46).-P.21414-21427. DOI 10.1016/j.ijhydene.2018.09.212.

2. Sgobbi A., Nijs W., De Miglio R., Chiodi A., Gargiulo M., Thiel, C. How far away is hydrogen? Its role in the medium and long-term decarbonisation of the European energy system// International Journal of Hydrogen Energy.-2016.-Vol 41(1).-P.19-35. DOI 10.1016/j.ijhydene.2015.09.004.

3. Pan B., Yin X., Ju Y., Iglauer S. Underground hydrogen storage: Influencing parameters and future outlook// Advances in Colloid and Interface Science.- 2021.-Vol 294.- P.102473.

DOI 10.1016/j.cis.2021.102473.

4. Tarkowski R. Underground hydrogen storage: Characteristics and prospects// Renewable and Sustainable Energy Reviews.-2019.-Vol.105.-P.86-94. DOI 10.1016/j.rser.2019.01.051.

5. Carden P. O., Paterson L. Physical, chemical and energy aspects of underground hydrogen storage// International Journal of Hydrogen Energy.-1979.-Vol.4(6).-P.559-569. DOI 10.1016/0360-3199(79)90083-1.

6. Musyoka N. M., Wdowin M., Rambau K. M., Franus W., Panek R., Madej J., Czarna-Juszkiewicz D. Synthesis of activated carbon from high-carbon coal fly ash and its hydrogen storage application// Renewable Energy.- 2020. -Vol.155. -P.1264-1271. DOI 10.1016/j.renene.2020.04.003.

7. Abdimomyn S., Malik S., Skakov M., Koyanbayev Y., Miniyazov A., Malchik F. Hydrogen storage materials: Promising materials for Kazakhstan’s hydrogen storage industry// Eurasian Chemico-Technological Journal. - 2024. –Vol.26(3).- P.113-132. DOI 10.18321/ectj1635

8. Musyoka N. M., Wdowin M., Rambau K. M., Franus W., Panek R., Madej J., Czarna-Juszkiewicz D. Synthesis of activated carbon from high-carbon coal fly ash and its hydrogen storage application// Renewable Energy. -2020.- Vo.l 155.- P.1264-1271. DOI 10.1016/j.renene.2020.04.003.

9. Kazankapova M. K., Yermagambet B. T., Kozhamuratova U. M., Dauletzhanova Z. T., Kapsalyamov B. A., Malgazhdarova A. B., Beisembaeva K. A. Obtaining and investigating sorption capacity of carbon nanomaterials derived from coal for hydrogen storage// ES Energy and Environment. -2024.- Vol.25.- P.1234. DOI 10.30919/esee1234.

10. Bénard P., Chahine R. Storage of hydrogen by physisorption on carbon and nanostructured materials// Scripta Materialia.-2007.-Vol.56(10).- P.803-808. DOI 10.1016/j.scriptamat.2007.01.008.

11. Kayiran S. B., Lamari F. D., Levesque D. Adsorption properties and structural characterization of activated carbons and nanocarbons// The Journal of Physical Chemistry. -2004.-Vol.108(39). - P.15211-15215. DOI 10.1021/jp048169c.

12. Anson A., Callejas M. A., Benito A. M., Maser W. K., Izquierdo M. T., Rubio B., Martınez M. T. Hydrogen adsorption studies on single wall carbon nanotubes// Carbon.- 2004.-Vol.42(7). - P.1243-1248. DOI 10.1016/j.carbon.2004.01.038.

13. Xia Y., Yang Z., Zhu Y. Porous carbon-based materials for hydrogen storage: advancement and challenges// Journal of Materials Chemistry.- 2013. - Vol 1(33).- P.9365-9381. DOI 10.1039/C3TA10583K.

Information about the authors

Kazankapova M.K. - PhD in Philosophy, Associate Professor, Corresponding Member of KazNANS, Leading Researcher, Head of Laboratory of LLP ”Institute of Coal Chemistry and Technology”, Astana, Kazakhstan, e-mail: maira_1986@mail.ru;

Yermagambet B.T. - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of KazNANS, Project Manager, Chief Researcher, Director of LLP ”Institute of Coal Chemistry and Technology”, Astana, Kazakhstan, e-mail: bake.yer@mail.ru;

Kassenova Zh.M. - Candidate of Chemical Sciences (PhD), Member of KazNANS, Leading Researcher, Deputy Director of LLP ”Institute of Coal Chemistry and Technology”, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanar_k_68@mail.ru;

Kapsalyamov B.A. - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakh-

stan, e-mail: ba.kapsalyamov@gmail.com;

Malgazhdarova A.B. - Junior Researcher «Institute of Coal Chemistry and Technology», master student Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: malgazhdarova.ab@mail.ru;

Dauletzhanova Zh. T. - 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;

Kozhamuratova U.M. -Junior Researcher «Institute of Coal Chemistry and Technology», master student Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: kozhamuratova.u@mail.ru;

Mendaliyev G. K. – Junior Researcher «Institute of Coal Chemistry and Technology», master student Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: ganimen02@mail.ru;

Akshekina A.S. – Senior Lab Assistant «Institute of Coal Chemistry and Technology», Astana, Kazakhstan, e-mail: akshekina11@gmail.com.

Сведения об авторах

Казанкапова М.К. - PhD, асс. профессор, чл.-корр. КазНАЕН, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией ТОО «Институт химии и технологии угля», Астана, Казахстан, e-mail: mailto:maira_1986@mail.ru;

Ермагамбет Б.Т.- доктор химических наук, профессор, академик КазНАЕН, руководитель проекта, главный научный сотрудник, директор ТОО «Институт химии и технологии угля», Астана, Казахстан, e-mail: bake.yer@mail.ru;

Касенова Ж.М. - кандидат химических наук (PhD), член КазНАЕН, ведущий научный сотрудник, заместитель директора ТОО «Институт углехимии и технологии», Астана, Казахстан, e-mail: zhanar_k_68@mail.ru;

Капсалямов Б.А.- доктор химических наук, профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: ba.kapsalyamov@gmail.com;

Малғаждарова А.Б. - младший научный сотрудник ТОО «Институт химии угля и технологии», магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: malgazhdarova.ab@mail.ru;

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;

Қожамұратова Ұ.М. - младший научный сотрудник ТОО «Институт химии угля и технологии», магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: kozhamuratova.u@mail.ru;

Мендалиев Г.К. - младший научный сотрудник ТОО «Институт химии угля и технологии», магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: ganimen02@mail.ru;

Акшекина Ә.С. - старший лаборант ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан, e-mail: akshekina11@gmail.com.

МРНТИ 31.21.27 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1003**

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ И ТЕРМОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОЛИГОСАХАРИДНЫХ КЛАТРАТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЦИТИЗИНА

[1]С.Д. Фазылов✉, [2]А.Ж. Сарсенбекова, [3]Р.Е. Бакирова, [2]Т.С. Жумагалиева, [1,4]А.К. Сыздыков, [3]Л.М. Власова, [2]М.Т. Нурмаганбетова, [3]Б.Ж. Аширбекова

[1]Институт органического синтеза и углехимии, Караганда, Казахстан,
[2]Карагандинский университет им. Е.А. Букетова, Қараганда, Казахстан,
[3]Карагандинский медицинский университет, Қараганда, Казахстан,
[4]Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан
✉*Корреспондент-автор: iosu8990@mail.ru*

В статье рассматриваются электронно-микроскопические и термохимические свойства клатратных композиций β-олигосахаридных комплексов включений алкалоида цитизина и его диметилфосфатного производного, функционализированные наночастицами серебра. Для визуализации и анализа эволюции их структуры при различных температурных режимах на сканирующем электронном микроскопе проведены морфологические исследования полученных нанокомпозиций частиц. Методами термогравиметрического и дифференциального термогравиметрического анализов получены данные кинетики термического разложения изучаемых субстратов, а также их инкапсулированных комплексов включений - цитизина и его производных с наносеребром. Результаты исследований позволили выявить соответствующие фазовые превращения нанокомпозиций, а также возможные процессы рекристаллизации и другие изменения, происходящие в комплексах включений в результате отжига. Полученные энергетические профили, воспроизведенные различными аналитическими и расчетными методами (непараметрической кинетики и методом Фридмана), показали, что процессы разрушения молекул клатратов под воздействием тепла начинаются с реакций с более высокими значениями энергии активации (E_a) и продолжается с равномерным уменьшением E_a, что свидетельствует о многостадийности процесса. Полученные кинетические данные способствуют прогнозированию свойств полученных композиций клатратных комплексов цитизина и его фосфорпроизводного, а также поиску оптимальных путей их стабилизации в условиях длительного хранения.

Ключевые слова: клатрат, комплекс включения, термическое разложение, наночастицы, цитизин, β-олигосахарид.

ЦИТИЗИННІҢ ОЛИГОҚАНТТЫ КЛАТРАТТЫ ТУЫНДЫЛАРЫНЫҢ ЭЛЕКТРОНДЫ-МИКРОСКОПИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕРМОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

[1]С.Д. Фазылов✉, [2]А.Ж. Сәрсенбекова, [3]Р.Е. Бәкірова, [2]Т.С. Жұмағалиева, [1,4]А.К. Сыздықов, [3]Л.М. Власова, [2]М.Т. Нұрмағанбетова, [3]Б.Ж. Әшірбекова

[1]Органикалық синтез және көмірхимиясы институты, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Е.А. Букетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[3]Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[4]Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан,
e-mail: iosu8990@mail.ru

Мақалада цитизин алкалоидының және оның диметилфосфатты туындысының β-олигосахаридті кешендерінің күміс нанобөлшектерімен түрлендірілген клатратты композицияларының электронды-микроскопиялық және термохимиялық қасиеттері қарастырылады. Әртүрлі температуралық режимдерде алынған бөлшектердің нанокомпозицияларының құрылымының эволюциясын визуализациялау және талдау үшін сканерлеуші электронды микроскопта морфологиялық зерттеулер жүргізілді. Термогравиметриялық және дифференциалды термогравиметриялық талдау әдістерімен зерттелетін субстраттардың термиялық ыдырау кинетикасының деректері, сондай-ақ олардың

цитизин мен оның нанокүмісті туындыларының инкапсуляцияланған кешендері зерттелді. Зерттеу нәтижелері нанокомпозицияның тиісті фазалық өзгерістерін, сондай-ақ қайта кристалдану процестерін және күйдіру нәтижесінде инклюзия кешендерінде болатын басқа өзгерістерді анықтады. Алынған энергетикалық профильдер әртүрлі аналитикалық және есептеу әдістерімен (параметрлік емес кинетика және Фридман әдісі) тексеріліп, жылу әсерінен клатрат молекулаларының ыдырау процестері белсендіру энергиясының (Ea) жоғары мәндері бар реакциялардан басталатынын және Ea біркелкі төмендеуімен жалғасатынын көрсетті, бұл процесстердің көп сатылы екенін білдіреді. Алынған кинетикалық деректер цитизин мен оның фосфор туындыларының клатрат кешендерінің алынған композицияларының қасиеттерін болжауға және ұзақ мерзімді сақтау жағдайында оларды тұрақтандырудың оңтайлы жолдарын іздеуге ықпал етеді.

Түйін сөздер: клатрат, қосу кешені, термиялық ыдырау, нанобөлшектер, цитизин, β-олигосхарид.

ELECTRON MICROSCOPIC AND THERMOCHEMICAL PROPERTIES OF CYTISINE OLIGOSACCHARIDE CLATHRATE DERIVATIVES

[1]S.D. Fazylov✉, [2]A.Zh. Sarsenbekova, [3]R.E. Bakirova, [2]T.S. Zhumagaliyeva, [1,4]A.K. Syzdykov, [3]L.M. Vlasova, [2]M.T. Nurmaganbetova, [3]B.Zh. Ashirbekova

[1]Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry, Karaganda, Kazakhstan,
[2]E.A. Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan,
[3]Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan,
[4]Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan,
e-mail: iosu8990@mail.ru

The article discusses the electron microscopic and thermochemical properties of clathrate compositions of β-oligosaccharide complexes of cytisine alkaloid inclusions and its dimethylphosphate derivative functionalized with silver nanoparticles. Morphological studies of the obtained nanocompositions of particles were performed on a scanning electron microscope to visualize and analyze the evolution of their structure under various temperature conditions. Thermogravimetric and differential thermogravimetric analyses were used to obtain data on the kinetics of thermal decomposition of the studied substrates, as well as their encapsulated complexes of cytisine inclusions and its derivatives with nanosilver. The research results revealed the corresponding phase transformations of the nanocomposition, as well as possible recrystallization processes and other changes occurring in the complexes of inclusions as a result of annealing. The obtained energy profiles, reproduced by various analytical and computational methods (nonparametric kinetics and the Friedman method), showed that the processes of destruction of clathrate molecules under the influence of heat begin with reactions with higher activation energy values (Ea) and continue with a uniform decrease in Ea, which indicates a multi-stage process. The kinetic data obtained contribute to predicting the properties of the obtained compositions of cytisine clathrate complexes and its phosphorous derivative and to finding optimal ways to stabilize them under long-term storage conditions.

Key words: clathrate, inclusion complex, thermal decomposition, nanoparticles, cytisine, β-oligoscharide.

Введение. По данным Всемирной организации здравоохранения ежегодно около миллиона человек умирают от различных видов респирательных заболеваний. При многократном применений известных противовирусных препаратов возникает резистентность штаммов вирусов к известным лекарственным препаратам. Это заставляет специалистов искать новые пути преодоления этих проблем путем создания новых лексредств. Одним из перспективных объектов при поиске и создании новых антивирусных препаратов является природный алкалоид цитизин (ЦН), содержащийся в семенах растений *Thermopsis lanceolata* произрастающий в южных районах Казахстане. ЦН обладает «ганглиозным» действием и, благодаря

стимулирующему воздействию на дыхание, является дыхательным аналептиком [1,2]. Поэтому возможные противовоспалительные, спазмолитические, антиаритмические, антивирусные и нейротропные свойства ЦН и его модифицированные производных в настоящее время широко изучаются. По литературным данным, ряд новых синтетических производных ЦН показали цитотоксичность и вирусингибирующую активность в отношении респираторных вирусов человека: вирусов гриппа *A* подтипов H1N1, H3N2, H5N2, вирусов гриппа B линий *B/Yamagata* и *B/Victoria* и вируса парагриппа человека типа 3. В работах [3-7] изучено некоторые особенности влияния ЦН и его производных на различных стадиях репродукции вируса гриппа. Однако ЦН относится к высокотоксичным веществам с LD_{50} 8-10 мг/кг. Синтезированное нами N-цитизинил-O,O-диметилфосфатное производное (ЦНФ) проявило высокое противовирусное действие по отношению гепатита *B* при низкой токсичности (LD_{50} 1800 мг/кг) [8]. Перечисленные выше особенности физиологического действия ЦН и его производного ЦНФ свидетельствуют о перспективности изучения их как эффективных ингибиторов протеаз вируса COVID-19 и рецептора ACE2. В предыдущих исследованиях нами были описаны получение и особенности инкапсуляции ЦН и его диметилфосфатного производного с β-олигосахаридом, содержащем наночастицы серебра [8,9]. Это исследование демонстрирует морфологические и термохимические характеристики нового комплекса включения ЦН и его ЦНФ производного в качестве органических лигандов в новой нанокомпозиций β-ЦД-Ag. Разработанная нами композиция находится в защитной оболочке натурального олигосахарида. Новую композицию β-ЦД-ЦН(ЦНФ), модифицированную с наночастицами Ag, можно считать многообещающей платформой для улучшения стабильности и расширения их потенциала в биомедицинском применении [9].

ЦД (α-, β- и γ-ЦД) - это натуральные продукты, образующиеся в результате расщепления крахмала [10]. ЦД являются специфическими реагентами для восстановления солей металлов и могут связываться с поверхностью наночастиц посредством хемосорбции. β-ЦД широко используется в инкапсуляции биосубстратов для защиты их от окисления, снижения токсичности, а также в предотвращении агрегации наночастиц металлов, тем самым способствуя их стабильности в растворе.

Исследования тепловых свойств клатратоподобных соединений представлены в периодической литературе фрагментарно. В некоторых работах изучены электрические свойства клатратов [11], тепловое расширение [12] и теплопроводность [13] при низких температурах. Изучены термодинамические свойства некоторых клатратов при высоких температурах [14,15,16]. Изучение термодинамических свойств клатратов и клатратоподобных соединений при низких температурах является актуальным, так как именно в этом диапазоне температур возможно определение их физических параметров, необходимых для анализа и прогнозирования свойств клатратов в широком температурном интервале, в том числе и при повышенных температурах.

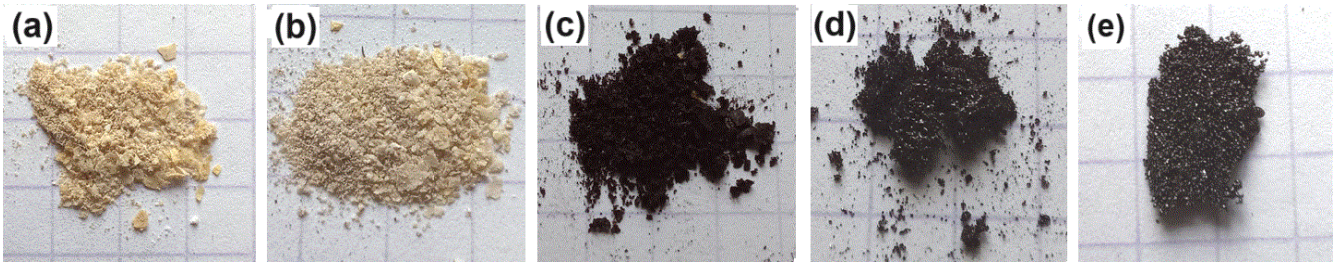
Цель работы заключалась в изучении закономерностей изменений кинетических и термодинамических данных в зависимости от структуры и состава полученных композиций, способствующих прогнозированию свойств клатратных комплексов цитизина и его фосфорпроизводного, а также поиску оптимальных путей их стабилизации в условиях длительного хранения.

Материалы и методы. Объектами исследования служили цитизин (ЦН) (Sigma, USA), O,O-диметиловый эфир цитизиниламидофосфат (ЦНФ), комплексы включения ЦН и его диметилфосфатного производного (ЦНФ), а также их композиций, модифицированные наносеребром (ЦН(ЦНФ)-β-ЦД-Ag). Получение и физико-химические характеристики некоторых исходных объектов исследований описаны нами в предыдущих работах [8,9]. В этом исследований нами приведены новые научные результаты по морфологическим и термохимическим характеристикам комплексов включений ЦН, его фосфатного производного ЦНФ в качестве орга-

нических лигандов с наночастицами серебра (β-ЦД-ЦН(ЦНФ)-Ag). Поверхностную морфологию наночастиц определяли с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescon Mira 3 LMN (Czech Republic). Образцы прикрепляли к проводящей адгезивной поверхности и наблюдали при ускоряющем напряжении 15 кВ. Исследования кинетики термического разложения изучаемых объектов, полученные методами термогравиметрического (ТГ) и дифференциального термогравиметрического анализа (ДТГ), проведены в атмосфере азота.

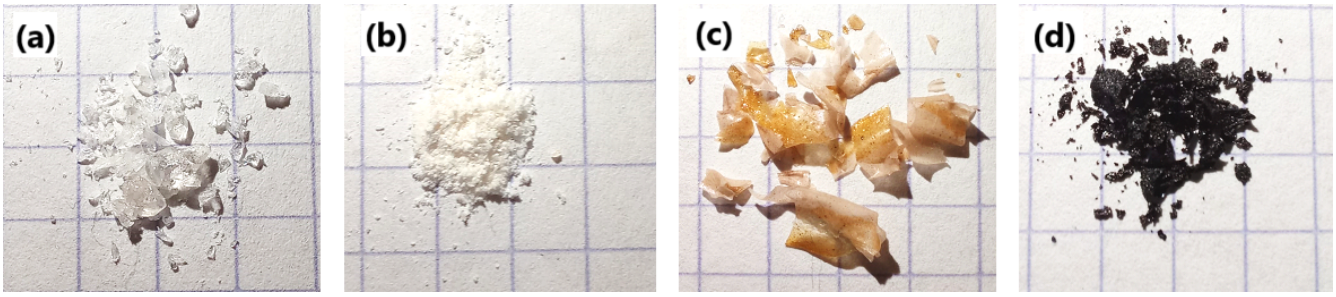
Обсуждение и результаты. Для полноценного понимания изменений морфологии комплексов цитизина (ЦН, ЦН-β-ЦД, β-ЦД-ЦН-Ag и β-ЦД-ЦНФ-Ag) (в атмосфере азота) проведены исследования, направленные на анализ эволюции их структуры под воздействием различных температурных режимов (рис.1-7).

Данная работа позволила выявить фазовые превращения, возможные процессы рекристаллизации и прочие изменения, происходящие в комплексах включения в результате отжига. На СЭМ-снимках ЦН (рис.1-7) отчетливо наблюдается сложная структура, после термической обработки, что указывает на наличие пористой микроструктуры. Низкотемпературная обработка ЦН при температуре до 90°С (рис.1-3(I, II, III) практически не вызвала изменений. На рисунках 1-5 приведены результаты термообработки ЦН(ЦНФ), и его клатратных комплексов при различных температурных режимах. Изменение морфологии пленок образцов при проведении процессов отжига материалов (90-360^{o}С) было проанализировано при помощи сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). При термообработке молекулы ЦН и его амидофосфатного производного ЦНФ наблюдается легкое деформирование структур, что сопровождается потемнением материала (рис.1-5a-e). Это связано с процессами деградации и карамелизации сахарных остатков β-ЦД. При проведении процесса отжига молекулы исходного ЦН при температуре 160°С фиксируется формирование нового рельефа, характеризующегося мягкими, плавными контурами.



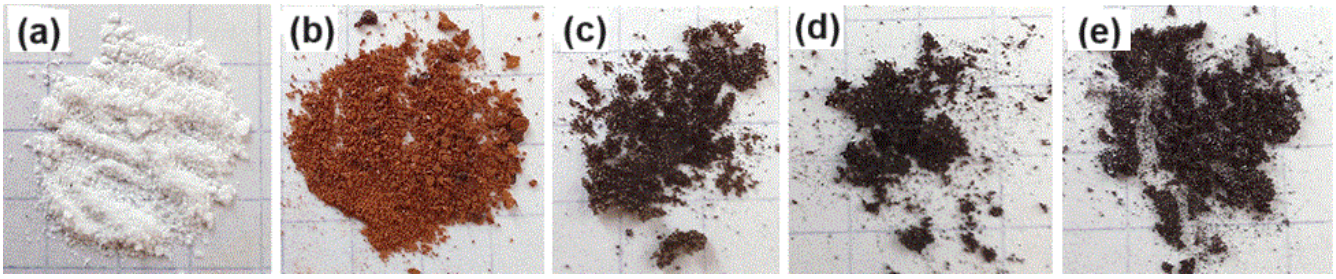
a - 90°С b - 160°С c - 250°С d - 315°С e - 360°С

Рис.1 - Отожженный ЦН



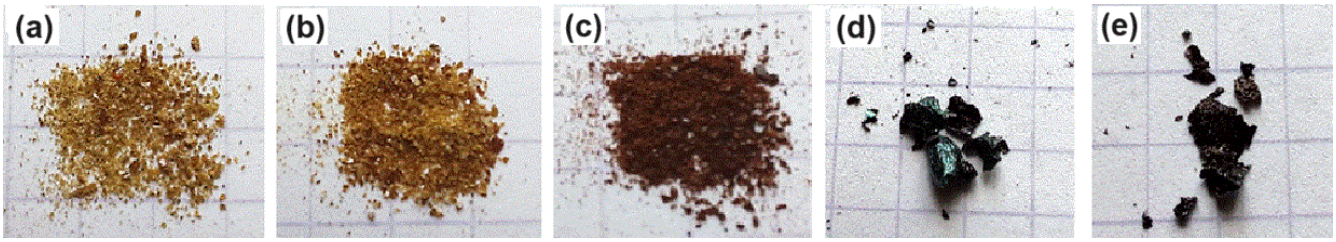
a - 90°С b - 160°С c - 250°С d - 360°С

Рис.2 - Отожженный ЦНФ



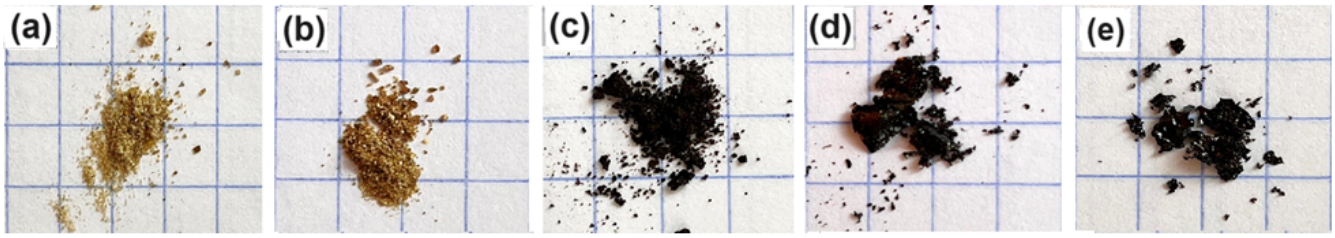
a - 80°C b - 270°C c - 300°C d - 350°C e - 450°C

Рис.3 - Отожженный комплекс включения β-ЦД-ЦН с мольным соотношением 1:1



a - 90°C b - 160°C c - 250°C d - 315°C e - 360°C

Рис.4 - Отожженный комплекс включения β-ЦД-ЦН-Ag



a - 90°C b - 160°C c - 250°C d - 315°C e - 360°C

Рис.5 - Отожженный комплекс включения β-ЦНФ-ЦД-Ag

Дальнейшее обугливание ЦН приводит к значительному изменению цвета продукта, выражающемуся в переходе к темно-бежевому оттенку (рис.1b). Данные изменения свидетельствуют о наличии интенсивных преобразований во внутренней структуре вещества, а также в его физико-химических свойствах, вызванных термическим воздействием. Эти изменения связаны с фазовыми переходами, химическими реакциями или реорганизацией молекулярной структуры ЦН. С повышением температуры до 315°C отмечается усиленное изменение микрорельефа поверхности данного вещества. Это выражается в образовании локальных выпуклостей и впадин, что придает ему значительную шероховатость (рис.1d). Отжиг при температуре 315°C приводит к некоторому сглаживанию рельефа поверхности, наблюдается появление металлического блеска на поверхности образцов продукта (рис. 1d). В этот период мембраны становятся более хрупкими. При дальнейшем отжиге при 360°C фиксируется явное разрушение и рассыпание вещества, что указывает на практически полный распад ЦН (рис.1e).

На рис.2-5 (a-e) показаны микрофотографии отожженных частиц ЦНФ и его комплексов - β-ЦД-ЦН, β-ЦД-ЦН-Ag и β-ЦД-ЦНФ-Ag. Исследование морфологии поверхности комплекса включения β-ЦД-ЦН (2:1) (рис.2) показало,

что последний представляет собой достаточно сложную структурно-морфологическую организацию. Диаметр частиц серебра колеблется от единиц до нескольких десятков нанометров. На рис.6 представлены СЭМ-фотографии поверхности образцов комплекса включения β-ЦД с ЦН, ЦНФ и др. Как следует из анализа данных рис.6, термическое напряжение, возникающее при нагреве, вызывает трещины и деформации во всех клатратных материалах.

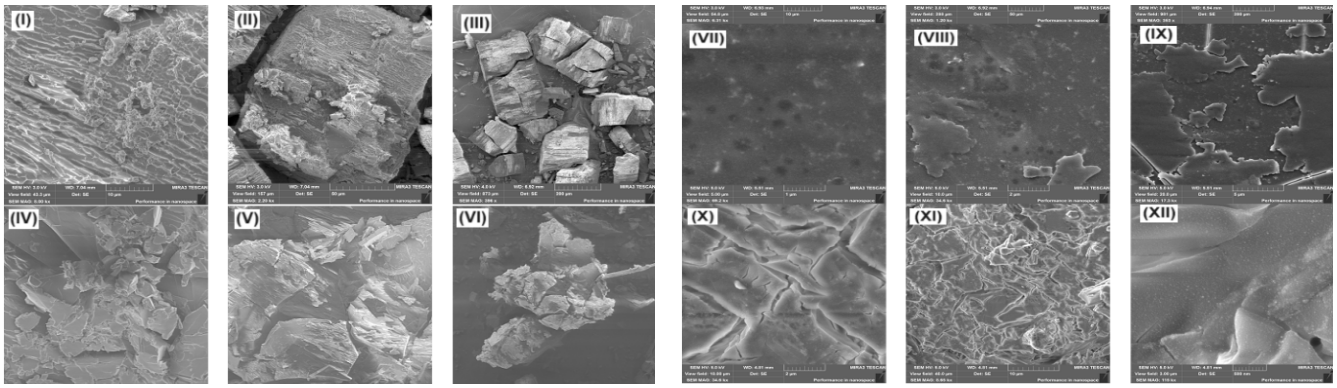


Рис.6 - Сканированные электронные микрофотографии образцов: (I, II, III) − β-ЦД-ЦН (2:1); (IV, V, VI) - β-ЦД-ЦНФ (2:1); (VII, VIII, IX) − β-ЦД-ЦН-Ag; (X, XI, XII) − β-ЦД-ЦНФ-Ag

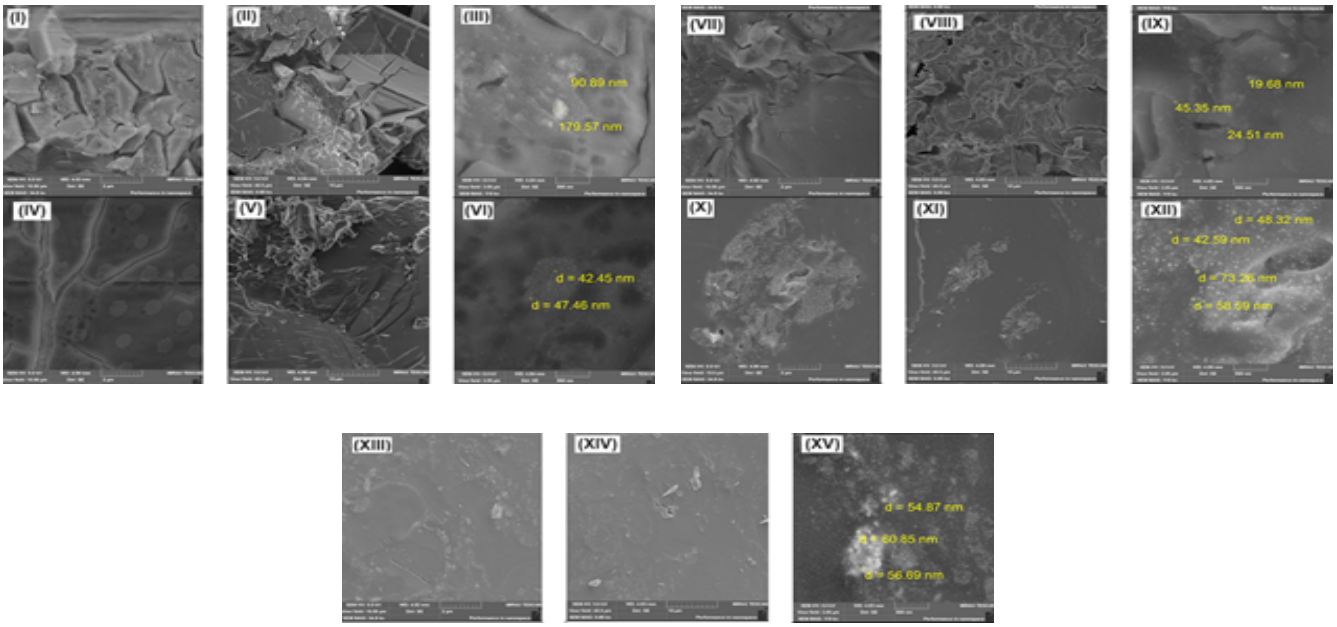


Рис.7 - Изображение образца ЦН после термической обработки при 90°С (I, II, III), 160°С (IV, V, VI), 250°С (VII, VIII, IX), 315°С (X, XI, XII), 360°С (XIII, XIV, XV)

При температуре 160°С (рис.7 (IV, V, VI) начинает проявляться первичная рекристаллизация, при этом наблюдаются небольшие трансформации в морфологии частиц. При повыше-

нии температуры до 250°C (рис.7 (VII, VIII, IX) фиксируются процессы рекристаллизации и начало фазовых превращений. Кристаллические фазы становятся более явно выраженными, а также появляются новые структурные формы. При температуре 315°C (рис.7 (X, XI, XII) кристаллы увеличиваются в размерах, и начинают формироваться новые фазы. В этой температурной зоне существуют риски появления как однородных структур, так и неравномерностей в распределении (рис.7 (X, XI, XII). При температуре 360°C (рис.7 (XIII, XIV, XV) происходит полная декомпозиция ряда исходных структур и образование новых фаз. Наблюдаются значительные разрушения кристаллической решетки, что приводит к изменению внешнего вида образца и делает его менее однородным (рис.7 (XIII, XIV, XV). На СЭМ снимках ЦНР (рис.8 (I, II, III) отчетливо наблюдается его сложная структура, представленная в виде округлых образований с плавными контурами. Поверхность этих образований демонстрирует значительное разнообразие текстур. Это может указывать на снижение прочности связи между молекулами и способствовать образованию макроскопических структур (рис.8 (I, II, III). При нагреве ЦНР до 250°C наблюдается разъединение отдельных частиц, что приводит к изменению их общего размера и распределения. Это явление связано с термической активностью и сопровождается разложением на меньшие компоненты (рис.8 (VII, VIII, IX).

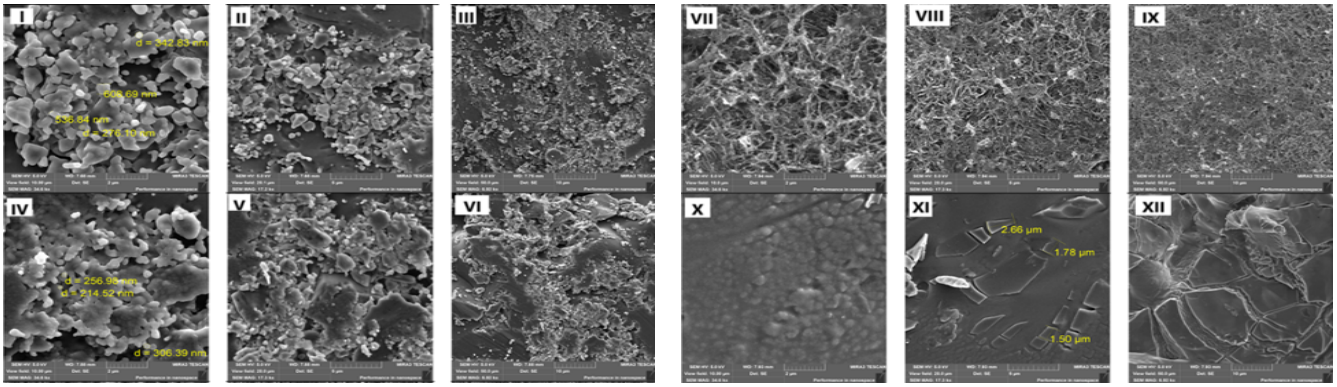


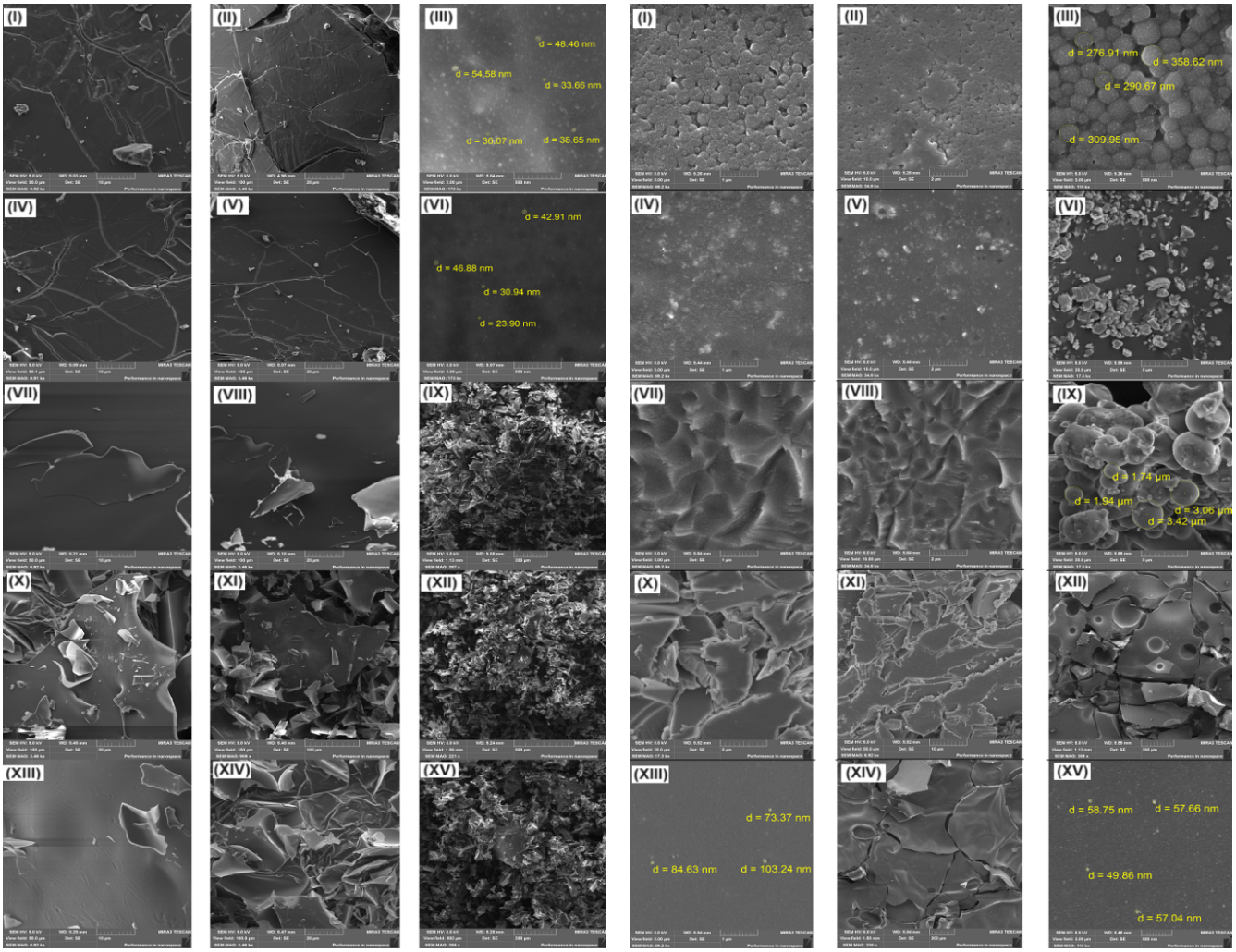
Рис.8 - Изображение образца ЦНФ после термической обработки при: 90°C (I, II, III), 160°C (IV, V, VI), 250°C (VII, VIII, IX), и 360°C (X, XI, XII)

При длительном нагреве до 360°C формируются специфические повреждения, такие как микротрещины. Данные дефекты существенно влияют на механические свойства ЦНР и становятся отчетливо видимыми на СЭМ-изображениях (рис.8 (X, XI, XII).

Эмпирические наблюдения свидетельствуют о присутствии на поверхности зерен линий скольжения (рис.9А (II, I-III). Как видно из рис.9А (IV- IX), после термической обработки комплекса включения β-ЦД-ЦН (2:1) до 270°C произошли существенные изменения в морфологии клатрата. Термическая обработка комплекса включения β-ЦД-ЦН (2:1) приводят к образованию многочисленных групп линий скольжения с различными ориентациями на поверхности (рис.9А II, VII) и возникновению вторичных трещин (рис.9А II, VIII). Излом, образующийся непосредственно от микротрещин по линиям скольжения, свидетельствует о том, что образовавшиеся линии скольжения при повышении температуры являются очагами разрушения (рис.9А II, IX).

Согласно данным СЭМ (рис.9Б (I, II, III), частицы комплекса включения β-ЦД-ЦН-Ag имеют преимущественно сферическую форму. Это указывает на наличие наночастиц Ag в структуре комплекса и на их изменения под воздей-

ствием тепла. По данным СЭМ изображений поверхности образцов комплексов включений β-ЦД-ЦН-Ag, сформированных при температуре 250°С, присутствуют частицы округлой формы, средний размер которых около 3 нм (рис.9Б (VII, VIII, IX). При проведении дальнейшей термообработки эти частицы могут увеличиваться в размере до 50 нм и более (рис.9Б (VII, VIII, IX). Таким образом, можно предположить, что наблюдаемые агрегаты сферической формы являются частицами серебра, которые увеличиваются в размере при дальнейшей термической обработке. После термической обработки (рис.9Б (X, XI, XII) при температуре 315°С в контексте репликации наблюдается преимущественное присутствие не агрегированных частиц округлой формы в комплексе включения β-ЦД-ЦН-Ag, средний размер которых составляет приблизительно 50 нм. Существенные изменение морфологии комплекса включения β-ЦД-ЦНФ-Ag наблюдается после их термообработки при 360°С. Как следует из рис.10 (XIII, XIV) в комплексе включения присутствуют полидисперсные частицы сферической формы (размер основной фракции 50-100 нм).



А *Б*

Рис.9: А - Микрофотография комплекса включения β-ЦД-ЦН (1:1) после термической обработки при 80°С (I, II, III), 270°С (IV, V, VI), 300°С (VII, VIII, IX), 350°С (X, XI, XII), 450°С (XIII, XIV, XV); Б - Микрофотография комплекса включения β-ЦД-ЦН-Ag после термической обработки при 90°С (I, II, III), 160°С (IV, V, VI), 250°С (VII, VIII, IX), 315°С (X, XI, XII), 360°С (XIII, XIV, XV)

Согласно данным СЭМ (рис.10, I, II, III), частицы комплекс включения β-ЦД-ЦНФ-Ag имеют преимущественно сферическую форму. Это указывает на наличие наночастиц серебра в структуре комплекса и на их изменения под воздействием тепла. При температуре 160°C и выше происходит более интенсивная термическая деградация компонентов комплекса (рис.10 IV, V, VI), что может повлиять на их взаимодействие и стабильность. Существенные изменение морфологии комплекса включения β-ЦД-ЦНФ-Ag наблюдается после их термообработки при 360°C. Как видно из рис.10, XIII, XIV, в комплексе включения присутствуют полидисперсные частицы сферической формы (размер основной фракции 50-100 нм). Реакции термического разложения таких продуктов, как ЦН, ЦНФ и их комплексы включения β-ЦД-ЦН, β-ЦД-ЦН-Ag, β-ЦД-ЦНФ-Ag, можно классифицировать как топологические процессы с локализацией реакционной зоны на поверхности раздела твердого реагента и продукта [17,18]. В таких условиях концентрация реагента утрачивает свое первоначальное значение, и более удобно использовать параметр *α*, который представляет собой долю прореагировавшего вещества к определенному моменту времени [19-22]. Начальное значение параметра *α* равно *0* (в начальный момент времени), а при завершении термического процесса - *α* достигает значения *1*.

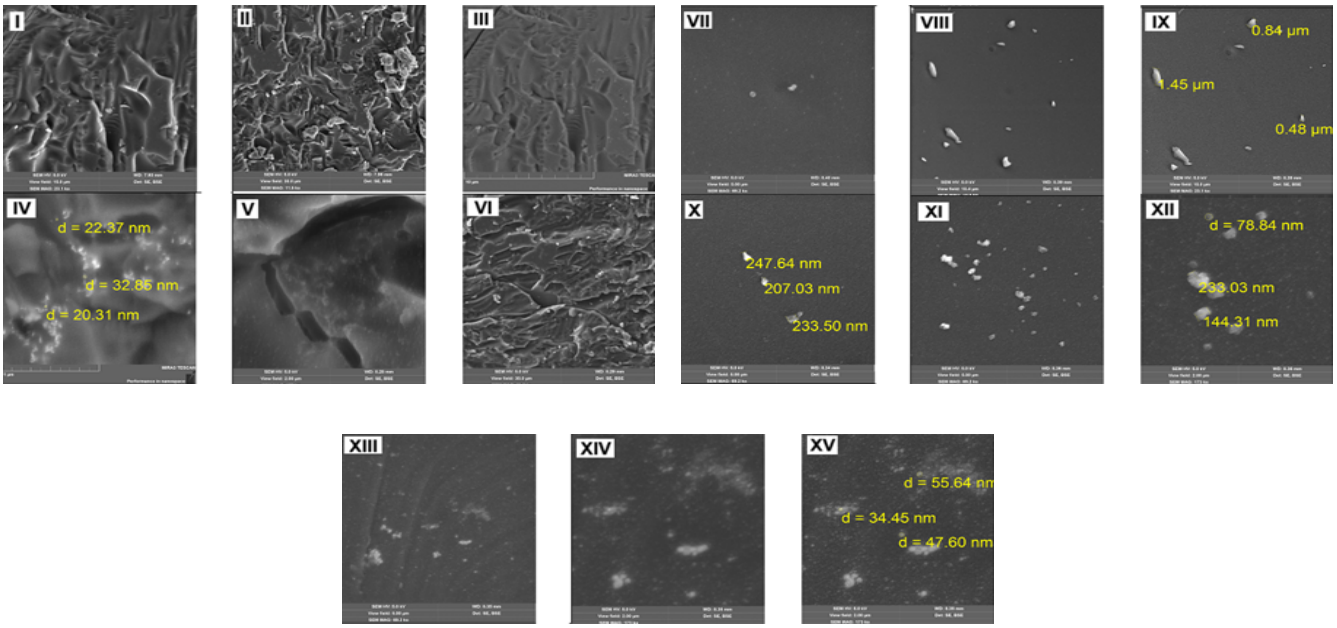


Рис.10 - Изображения образца комплекса включения β-ЦД-ЦНФ-Ag после термической обработки при: 90°C (I, II, III), 160°C (IV, V, VI), 250°C (VII, VIII, IX), 315°C (X, XI, XII), 360°C (XIII, XIV, XV)

Математическую модель рассматриваемых реакций можно представить с использованием дифференциального уравнения с начальным условием, отражающим значение *α* для реагента *A* в момент начала реакции (*t=0*). В контексте топологических процессов, участвующих в термическом разложении твердых веществ, важно учитывать особенности локализации реакций на поверхности твердых фаз и динамику изменения степени превращения реагентов в продукты.

Почти все методы расчета кинетических параметров по рассматриваемым данным термогравиметрии, основаны на применении уравнения:

$$\frac{d\alpha}{dt} - \beta\frac{d\alpha}{dT} - k(T)f(\alpha) - Aexp(-\frac{E_\alpha}{RT})f(\alpha) \quad (1)$$

Интерес ученых [19-25] в ходе проведения ис-

следований привлекает факт, заключающийся в отсутствии прямой связи между рассчитанными на основе изотермических данных кинетическими характеристиками и выбранной моделью. Метод Фридмана [19] является наиболее распространенным и часто используемым изоконверсионным методом. Этот метод основывается на следующем уравнении:

$$ln(-\frac{dx}{dt}) = lnA + lnf(x) - E/RT \qquad (2)$$

Многие приближения имеют общую форму линейного уравнения:

$$ln(\frac{\mathrm{B}_i}{T^{\mathrm{B}}_{\alpha,i}}) = const - C(\frac{E_\alpha}{RT_\alpha}) \qquad (3)$$

где β и a – параметры, определяющие тип температурного интегрального приближения.

Кинетическая матрица:

$$M = \{m_{ij}\} = \begin{bmatrix} r(\alpha_1, T_1) & r(\alpha_1, T_2) & \cdots & r(\alpha_1, T_j) \\ r(\alpha_2, T_1) & r(\alpha_2, T_2) & \cdots & r(\alpha_2, T_j) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r(\alpha_i, T_1) & r(\alpha_i, T_2) & \cdots & r(\alpha_i, T_j) \end{bmatrix} \qquad (4)$$

Экспериментальные данные скорости реакции были получены путем вычисления согласно уравнению (4) и могут быть представлены в трехмерной системе координат [21-23]. После применения алгоритма сингулярного разложения (SVD), матрица M представляет собой вектор *S* с двумя значимыми величинами. В данном случае матрица M может быть выражена как сумма:

$$M = M_1 + M_2 = u_1\nu_1^T + u_2\nu_2^T \qquad (5)$$

Это предполагает наличие двух базовых процессов на этапе разложения, и различие между ними можно определить по значениям объяснимой дисперсии λ_1 и λ_2 ($\lambda_1 + \lambda_2 \approx 100\%$).

Векторы u_1 и u_2 были сопоставлены с уравнением Шестака-Берггрена [17-19]

Согласно данных авторов [19-25], характер протекания реакций с увеличением скорости процесса эффективно описывает также метод непараметрической кинетики (МНПК). Одной из ключевых особенностей этого метода является возможность определения формально-кинетических параметров на основе заданного набора данных (dα/dt, T и α) при их обработке. Рассмотрим подробнее математическую сторону МНПК. Метод непараметрической кинетики [20] основан на построении матрицы, содержащий информацию по *k(T)* и *f(α)*. МНПК основывается на формировании матрицы, которая содержит информацию о функциях *k(T)* и *f(α)*. Подход к этой матрице может быть представлен с использованием алгоритма сингулярного разложения [21,21]. Ниже приведена кинетическая матрица метода НПК, в которой скорость реакции представляется как произведение двух независимых функций $k(T) = [\Sigma_1 v_1,\ \Sigma_1 v_2,\ \cdots,\ \Sigma_1 v_j]$ и $f(\alpha) = [u_1,\ u_2,\ \ldots,\ u_i]$.

$$f(a) = \alpha^m(1-\alpha)^n \qquad (6)$$

и векторы v_1 и v_2, с уравнением Аррениуса, соответственно.

При сравнительном анализе показателей энергии активации (*E*), определенные при помощи методов непараметрической кинетики, а также Шестака-Берггрена (Ш-Б) и Фридмана (ФР) [19-25], соединений ЦН, ЦНФ, комплекса β-ЦД-ЦН (в соотношении 1:1), комплекса β-ЦД-ЦН-Ag, комплекс β-ЦД-ЦНФ-Ag, установлено, что при понижении параметра α=0.1 процесс становится более замедленным, в то время как его увеличение приводит к ускорению реакции термической деструкции. Показатели энергии активации (*E*), определенные при помощи методов непараметрической кинетики, а также Шестака-Берггрена

(Ш-Б) и Фридмана (ФР) [19-25], приведены в таблице. Такие результаты говорят о важности контроля данного параметра для эффективного регулирования процессов, связанных с данной системой веществ. При увеличении значения энергии активации (α=0.1) процесс разложения комплекса β-ЦД-ЦН становится медленнее, а при уменьшении данного параметра процесс протекает быстрее (α=0.2 до (α=0.8). Аналогичная картина наблюдается и при анализе термических характеристик β-ЦД-ЦН-Ag, ЦНФ и β-ЦД-ЦНФ-Ag, что свидетельствует о значительном влиянии изменения энергии активации на скорость разложения данных комплексов.

Таблица 1 - Кинетические параметры процесса термодеструкции ЦН, ЦНФ, их клатратов с β-ЦД, а также их нанокомпозиций с β-ЦД-ЦН-Ag, β-ЦД-ЦНФ-Ag

Образец	$\overline{E}_{NPK}$, кДж моль$^{-1}$	$\overline{A}$, с$^{-1}$	Шестак-Берггрена $\alpha^m(1-\alpha)^n$		$\overline{E}_{S-B}$, кДж моль$^{-1}$	$\overline{A}$, с$^{-1}$	$\overline{E}_{FR}$, кДж моль$^{-1}$	$\overline{A}$, с$^{-1}$
			m	n				
ЦН	89.05	1.46×10^{5}	0.65	0.34	89.05	2.02×10^{6}	89.05	1.46×10^{5}
ЦНФ	90.12	1.54×10^{18}	0.51	0.75	91.09	2.05×10^{19}	90.01	2.14×10^{18}
β-ЦД	83.94	1.56×10^{15}	0.47	0.53	84.60	4.01×10^{16}	83.41	2.72×10^{15}
β-ЦД-ЦН	93.73	1.25×10^{18}	0.35	0.64	93.59	1.00×10^{19}	91.23	1.76×10^{11}
β-ЦД-ЦН-Ag	85.62	2.04×10^{10}	0.53	0.47	85.09	7.82×10^{10}	85.62	2.10×10^{10}
β-ЦД-ЦНФ-Ag	93.03	2.89×10^{18}	0.66	1.34	94.32	1.05×10^{12}	90.94	1.01×10^{12}

Выводы. Исследованы электронно-микроскопические свойства и кинетика термического разложения комплексов включения β-ЦД-ЦН и β-ЦД-ЦНФ, а также их композиций с наночастицами серебра. Эти исследования проведены с целью определения кинетических параметров этих реакций в изотермических условиях, обеспечивающих сохранение кинетического триплета и более точное описание процесса. Полученные энергетические профили, воспроизведенные различными аналитическими и расчетными методами, показали, что процесс разрушения молекул клатратов под воздействием тепла начинается с реакций с более высокими значениями энергии активации (E_a) и продолжается с равномерным уменьшением E_a вдоль пути реакции, что характерно многостадийным процессам. Показано, что полученные кинетические данные могут способствовать прогнозированию характера устойчивости комплексов включения β-ЦД-ЦН и β-ЦД-ЦНФ с наночастицами серебра в условиях длительного хранения и поиску оптимальных путей их стабилизации. Понимание механизмов деградации и стабилизации этих комплексов является ключевым для оптимизации их использования в реальных условиях. Полученные данные подчеркивают важность разбора термодинамических и кинетических аспектов термического разложения комплексов, что открывает новые горизонты для разработки новых нанокомпозиций. В будущем дальнейшие эксперименты могут быть направлены на изучение влияния различных внешних факторов, таких как температура и влажность на стабильность и активность этих комплексов. Также стоит отметить, что использование наноразмерных частиц серебра может повысить эффективность антиоксидантной и антимикробной активности созданных систем, открывая тем самым новые возможности для применения их в фармацевтической и косметической промышленностей.

Литература

1. Wolker N., Howe C., Glover M., McRobbie H., Barnes J. Cytisine versus Nikotine for Smoking Cessation // The New England Journal of Medicine. - 2014. - Vol.371(25). - P. 2353-2362. DOI 10.1056/nejmoa1407764.

2. Prochaska J.J., Das S., Benowitz N.L. Cytisine, the world's oldest smoking cessation aid // BMJ. - 2013. - Vol.347. - P.198. DOI 10.1136/bmj.f5198.

3. Tsypysheva I.P., Koval'skaya A., Petrova P., Lobov A., Borisevich S.S., Tsypyshev D., Fedorova V.A., Gorbunova E.A., Galochkina A.V., Zarubaev V.V. Diels-Alder Adducts of Nsubstituted Derivatives of (-)-Cytisine as Influenza A/H1N1 Virus Inhibitors; Stereo differentiation of antiviral Properties and Preliminary Assessment of Action Mechanism // Tetrahedron.- 2019. -Vol.75(21). - P.2933-2943. DOI 10.1016/j.tet.2019.04.021.

4. Beard E., Shahab L., Cummings D. M., Michie S., West R. New pharmacological agents to aid smoking cessation and tobacco harm reduction: what has been investigated, and what is in the pipeline? // CNS Drugs. -2016. -Vol.30. -P.1-33. DOI 10.1007/s40263-016-0362-3.

5. Fedorova V.A., Kadyrova R.A., Slita A.V., Muryleva A.A., Petrova P.R., Kovalskaya A.V., Lobov A.N., Zileeva Z.R., Tsypyshev D.O., Borisevich S.S., Tsypysheva I.P., Vakhitova J.V., Zarubaev V.V. Antiviral activity of amides and carboxamides of quinolizidine alkaloid (-)-cytisine against human influenza virus A(H1N1) and parainfluenza virus type 3 // Natural Product Research. -2021. – Vol.35. -P.4256-4264. DOI 10.1080/14786419.2019.1696791.

6. Vakhitova Yu.V., Farabontova E.I., Zainullina L.F., Vakhitov V.A., Tsypysheva I., Yunusov M.S. Search of (-)-cytisine derivatives as potential inhibitors of NF-kB and STAT1 // Russian Journal of Biorganic chemistry. -2015. -Vol.41(3). - P.297-304. DOI: 10.1134/S1068162015030103.

7. Thomas D., Farrel M., Mcrobbie H., Tutka P. The effectiveness, safety and cost-effectiveness of cytisine versus varenicline for smoking cessation in an Australian population: A study protocol for a randomised controlled non-inferiority trial // Society for the Study of Addiction. -2018. -Vol.114(5). - P.923-933. DOI 10.1111/add.14541.

8. Fedorova V. A., Kadyrova R. A., Slita A. V., Muryleva A. A., Petrova P. R., Kovalskaya A. V., Lobov A. N., Zileeva Z. R., Tsypyshev D. O., Borisevich S. S., Tsypysheva I. P., Vakhitova J. V., Zarubaev V. V. Antiviral activity of amides and carboxamides of quinolizidine alkaloid (-)-cytisine against human influenza virus A(H1N1) and parainfluenza virus type 3. // Natural Product Research. -2021. -Vol.35(22). - P.4256-4264. DOI 10.1080/14786419.2019.1696791.

9. Muldakhmetov Z., Fazylov S., Gazaliev A., Nurkenov O., Seilkhanov O. The synthesis of new inclusion compounds complexes cytosine-β-cyclodextrin // News of the national Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Series Chemistry and technology. -2022. -Vol. 2(51). - P.112-120. DOI 10.32014/2022.2518-1491.107.

10. Larsen K.L. Large cyclodextrins // Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry. -2002. -Vol.43(1). -P.1-13. DOI 10.1023/A:1020494503684.

11. Nolas G.S., Cohn J., Slack GA et al. Semiconducting Ge clathrates: Promising candidates for thermoelectric applications // Applied Physics Letters. -1998. -Vol.73, № 2. -P.178-180. DOI 10.1063/1.121747.

12. Sales B.C., Chakoumakes B.C., Jin R. et al. Structural, Magnetic, Thermal, and Transport Properties of X8Ga16Ge30 (X=Eu, Sr, Ba) single crystals // Physical Review B. -2001. -Vol.63(21). -P.245113-245113. DOI 10.1103/PhysRevB.63.245113.

13. Cohn J.L., Nolas G.S. Glasslike Heat Conduction in High-Mobility Crystalline Semiconductors //

Physical Review Letters. -1999. -Vol.82, № 4. -P.779-782.

14. Kuznetsov V.L., Kuznetsova L.A., Kaliazin A.E. et al. Preparation and thermoelectric properties of AII 8 B III 16B IV 30 clathrate compounds // Journal of Applied Physics. -2000. -Vol.87(11). -P. 7871-7875.

15. Tang X., Li P., Deng S., Zhang Q. High temperature thermoelectric transport properties of double-atom-filled clathrate compounds YbxBa8-xGa16Ge30 // Journal of Applied Physics. -2008. -Vol.104(1). -P. 1-7. DOI 10.1063/1.2951888.

16. Abramchuk N.S., Carillo-Cabrera W. et al. Homo- and Heterovalent Substitutions in the New Clathrates I Si30P16Te8-xSex and Si30+xP16-xTe8-xBrx: Synthesis, Crystal Structure, and Thermoelectric Properties // Inorganic Chemistry. -2012. -Vol.51(21). -P.11396-11405. DOI 10.1021/ic3010097.

17. Hong L., Luo S.H., Yu C.H., Xie Y., Xia M.Y., Chen G.Y., Peng Q. Functional Nanomaterials and Their Potential Applications in Antibacterial Therapy // Pharm. Nanotechnol. -2019. -Vol.7. -P.129-146. DOI 10.2174/2211738507666190320160802.

18. Yao Y, Liao W, Yu R, Du Y, Zhang T, Peng Q. Potentials of combining nanomaterials and stem cell therapy in myocardial repair // Nanomedicine. - 2018. -Vol.13(13). - P.1623-38. DOI 10.2217/nnm-2018-0013.

19. Friedman H.L. New methods for evaluating kinetic parameters from thermal analysis data // J. Polym. Sci. Part B. -1969. -Vol.7. -P.41-46. DOI 10.1002/pol.1969.110070109.

20. Serra R., Nomen R., Sempere J. The non-parametric kinetics a new method for the kinetic study of thermoanalytical data // J. Therm. Anal. Calorim. -1998. -Vol.52. -P.933-943. DOI 10.1023/A:1010120203389.

21. Vlase T., Vlase G., Doca N., Bolcu C. Processing of non-isothermal TG data. Comparative kinetic analysis with NPK method //Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. -2005. -Vol.80. -P.59-64. DOI 10.1007/s10973-005-0613-x.

22. Shin S., Im S.I., Nho N.S., Lee K.B. Kinetic analysis using thermogravimetric analysis for nonisothermal pyrolysis of vacuum residue // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. -2016. -126. - P.933-941. DOI 10.1007/s10973-016-5568-6.

23. Šesták J., Kratochvíl J. Rational approach to thermodynamic rrocesses and constitutive equations in isothermal and non-isothermal kinetics // Journal of Thermal Analysis. -1973. -Vol.5. - P.193-201. DOI 10.1007/BF01950368.

24. Burkeev M.Zh., Fazylov S.D., Bakirova R., Iskineyeva A. Thermal decomposition of β-cyclodextrin and its inclusion complex with vitamin E // Mendeleev Communications. -2021. - Vol.31(1). - P.76-78. DOI 10.1016/j.mencom.2021.01.023.

25. Šesták J. Errors of kinetic data obtained from thermogravimetric curves at increasing temperature // Talanta. -1966. -Vol.13(4). - P.567-579. DOI 10.1016/0039-9140(66)80267-9.

Информация об авторах

Фазылов С.Д. - академик НАН РК, доктор химических наук, главный научный сотрудник, Институт органического синтеза и углехимии РК, Караганда, Казахстан, e-mail: iosu8990@mail.ru

Сарсенбекова А.Ж. - кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Карагандинский университет имени Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан, e-mail: chem_akmaral@mail.ru;

Бакирова Р.Е. - доктор медицинских наук, профессор, Карагандинский медицинский университет, Караганда, Казахстан, e-mail: bakir15@mail.ru;

Власова Л.М. - кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Карагандинский медицинский университет, Караганда, Казахстан, e-mail: vlasova@qmu.kz;

Жумагалиева Т.С. - кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Карагандинский университет имени Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан, e-mail: zhumagalieva79@mail.ru;

Нурмаганбетова М.Т. - кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Карагандинский университет имени Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан; e-mail: ritunur@mail.ru;

Сыздыков А.К. - младший научный сотрудник, Институт органического синтеза и углехимии РК, Караганда, Казахстан, e-mail: ardak.syzdykov.96@inbox.ru;

Аширбекова Б.Ж. - младший научный сотрудник, Карагандинский медицинский университет, Караганда, Казахстан, e-mail: ashirbekova@qmu.kz;

Information about authors

Fazylov S.D. - academician NAS RK, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: iosu8990@mail.ru;

Sarsenbekova A.Zh. - candidate of chemical sciences, Associate Professor, E.A.Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: chem_akmaral@mail.ru;

Bakirova R.E. – doctor of medical sciences, Professor, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: bakir15@mail.ru;

Vlasova L.M. - candidate of chemical sciences, Associate Professor, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan, vlasova@qmu.kz;

Zhumagalyieva T.S. - candidate of chemical sciences, Associate Professor, E.A.Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: zhumagalieva79@mail.ru;

Nurmaganbetova M.T. - candidate of chemical sciences, Associate Professor, E.A.Buketov Karaganda University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: ritunur@mail.ru;

Syzdykov A.K. - junior researcher, Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: ardak.syzdykov.96@inbox.ru;

Ashirbekova B.Zh. - master of Medicine, Karaganda Medical University, Karaganda, e-mail: ashirbekova@qmu.kz.

IRSTI 61.53.99 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-972**

INVESTIGATION OF THE PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF CARBON NANOMATERIAL OBTAINED BY THE ELECTRIC ARC METHOD BASED ON ACTIVATED TALDYKOL COAL

[1,2,3]M.K. Kazankapova✉, [1,2,3]B.T. Yermagambet✉, [1,2,3]Zh.M. Kassenova, [1]A.S. Akshekina, [1,2]G.K. Mendaliyev, [1,2]A.B. Malgazhdarova, [1,3]Zh.T. Dauletzhanova, [1,2]U.M. Kozhamuratova

[1]«Institute of Coal Chemistry and Technology» LLP, Astana, Kazakhstan,
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[3]Kazakh university of technology and business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,
✉Corresponding author: coaltech@bk.ru, maira_1986@mail.ru

In this study, the modification of ”Taldykol” activated coal using the electric arc discharge method at different currents (100 A, 200 A, and 300 A) and its potential for producing graphene-like nanomaterials is discussed. The treatment of the coal leads to significant changes in its microstructure, including an increase in porosity (from 1.88 to 0.38 μm) and an improvement in adsorption properties, which contributes to effective absorption of gases and liquids. Raman spectroscopy showed a high degree of graphitization of the obtained nanomaterials with G_f values of 83.1% at 100 A, 89.5% at 200 A (lower part of the reactor), 97.5% at 200 A (electrode), and 91.1% at 300 A. Low ID/IG ratios (from 0.01 to 0.1) and high IG/I_2D ratios (from 2.5 to 3.7) indicate minimal defects and high-quality graphitic structures. Based on the gas composition and physicochemical properties data (volatility 42.54%, moisture 29.37%, ash content 19.23%, bulk density 0.70 g/cm³, pore volume 0.59 cm³/g, pH 7.05), the obtained nanomaterials possess high adsorption properties and can be used in fields such as hydrogen storage, energy, filtration, and the development of nanomaterials.

Keywords: carbon nanomaterial, graphite, electric arc discharge, specific surface area, graphitization.

БЕЛСЕНДІРІЛГЕН ТАЛДЫКӨЛ КӨМІРІ НЕГІЗІНДЕ ЭЛЕКТРО ДОҒАЛЫ ӘДІСПЕН АЛЫНҒАН КӨМІРТЕКТІ НАНОМАТЕРИАЛДЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

[1,2,3]М.Қ. Қазанқапова✉, [1,2,3]Б.Т. Ермағамбет✉, [1,2,3]Ж.М. Касенова, [1]Ә.С. Акшекина, [1,2]Г.К. Мендалиев, [1,2]А.Б. Малғаждарова, [1,3]Ж.Т. Даулетжанова, [1,2] Ұ.М. Қожамұратова

[1]«Көмір химиясы және технология институты» ЖШС, Астана, Қазақстан,
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Kazakh university of technology and business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,
e-mail: coaltech@bk.ru, maira_1986@mail.ru

Бұл зерттеуде ”Талдыкөл” белсендірілген көмірін электр доғалық разряд әдісімен әртүрлі токтарда (100 А, 200 А және 300 А) модификациялау және оның графен тәрізді наноматериалдарды алу потенциалы қарастырылады. Көмірді өңдеу оның микроструктурасында елеулі өзгерістерге әкеліп, порosity көрсеткішінің 1,88-ден 0,38 мкм-ге дейін артуына және адсорбциялық қасиеттерінің жақсаруына ықпал етеді, бұл газдар мен сұйықтықтарды тиімді сіңіруге мүмкіндік береді. Раман спектроскопиясы алынған наноматериалдардың жоғары графиттену деңгейін көрсетті, мұндағы G_f мәндері 100 А кезінде 83,1%, 200 А кезінде реактордың төменгі бөлігіне 89,5%, 200 А кезінде электродта 97,5%, ал 300 А кезінде 91,1% болды. ID/IG қатынасының төмен (0,01-ден 0,1-ге дейін) және IG/I_2D қатынасының жоғары (2,5-ден 3,7-ге дейін) мәндері дефектілердің минималды екендігін және жоғары сапалы графиттік құрылымдардың бар екенін көрсетеді. Газ құрамы мен физика-химиялық қасиеттер бойынша алынған деректерге (ұшқыштық 42,54%, ылғалдылық 29,37%, күлділік 19,23%, көлемді тығыздық 0,70 г/см³, кеуектің көлемі 0,59 см³/г, pH 7,05) сүйене отырып, алынған наноматериалдар жоғары адсорбциялық қасиеттерге ие және оларды сутекті сақтау, энергия, фильтрация және наноматериалдарды дамыту салаларында қолдануға болады.

Түйін сөздер: көміртекті наноматериал, графит, электр доғасының разряды, меншікті беттік аудан, графиттену дәрежесі.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНОГО НАНОМАТЕРИАЛА, ПОЛУЧЕННОГО ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫМ МЕТОДОМ НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ТАЛДЫКОЛЬ

[1,2,3]М.Қ. Қазанқапова✉, [1,2,3]Б.Т. Ермағамбет✉, [1,2,3]Ж.М. Касенова, [1]Ә.С. Акшекина, [1,2]Г.К. Мендалиев, [1,2]А.Б. Малғаждарова, [1,3]Ж.Т. Даулетжанова, [1,2] Ұ.М. Қожамұратова

[1]ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан,
[2]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mail: coaltech@bk.ru, maira_1986@mail.ru

В настоящем исследовании рассматривается модификация активированного угля ”Талдыколь” с использованием метода электродугового разряда при различных токах (100 А, 200 А и 300 А) и его потенциал для получения наноматериалов на основе графеноподобных структур. Обработка угля приводит к значительным изменениям в его микроструктуре, включая увеличение пористости (от 1,88 до 0,38 мкм) и улучшение адсорбционных свойств, что способствует эффективному поглощению газов и жидкостей. Раман-спектроскопия показала высокую степень графитизации полученных наноматериалов с показателями G_f 83,1% при 100 А, 89,5% при 200 А (нижняя часть реактора), 97,5% при 200 А (электрод) и 91,1% при 300 А. Низкие значения отношения ID/IG (от 0,01 до 0,1) и высокие значения IG/I_2D (от 2,5 до 3,7) свидетельствуют о минимальных дефектах и высококачественных графитовых структурах. На основе данных о газовом составе и физико-химических свойствах (летучесть 42,54%, влажность 29,37%, зольность 19,23%, насыпная плотность 0,70 г/см³, объем пор 0,59 см³/г, pH 7,05) полученные наноматериалы обладают высокими адсорбционными свойствами и могут быть использованы в таких областях, как хранение водорода, энергии, фильтрация и разработка наноматериалов.

Ключевые слова: углеродный наноматериал, графит, электродуговой разряд, удельная поверхность, графитизация.

Introduction. In recent decades, carbon nanomaterials (CNMs) have attracted increasing scientific interest due to their unique physicochemical properties, high specific surface area, electrical conductivity, and chemical resistance. Their applications span a wide range of fields: from energy storage systems and adsorbents to biomedicine and electronics. In this context, the search for environmentally friendly and cost-effective methods for the synthesis of such materials is particularly relevant. The use of activated coals, especially of natural origin, as raw materials for the synthesis of CNMs is a promising direction. This study investigates coal from the Taldykol deposit, emphasizing the importance of local natural resources and their scientific and practical potential.

The aim of this work is to obtain and study carbon nanomaterials based on activated Taldykol coal using the electric arc discharge method, as well as to determine their physicochemical characteristics, morphology, sorption properties, and degree of graphitization.

To achieve this goal, the following objectives were set: modification of activated coal at different currents (100 A, 200 A, 300 A); study of the morphology and structure of the obtained material using SEM and Raman spectroscopy; determination of the elemental composition and degree of graphitization; analysis of the sorption characteristics of the obtained nanomaterials.

The novelty of the research lies in the use of activated Taldykol coal—a local resource—for obtaining graphene-like nanomaterials with a high degree of graphitization. A comprehensive evaluation of the material’s properties under various arc discharge regimes was conducted. Materials with low defect levels and the presence of multilayer graphene were obtained, as confirmed by Raman spectroscopy. This approach has not been previously highlighted in the available literature in the context of this specific coal and

chosen technology. According to reviews [1–5], carbon nanomaterials, including carbon nanotubes, graphene, graphdiyne, and graphone, demonstrate excellent properties when used in nanocomposites, supercapacitors, solar cells, fuel cells, and other devices. Due to their exceptional physicochemical properties, carbon-based nanomaterials have attracted considerable attention, making them promising candidates for a wide range of future applications in various critical fields [1,2].

The growing demand for environmentally friendly and cost-effective synthesis strategies has driven extensive global research efforts in the development of carbon nanomaterials.

Carbon nanomaterials (CNMs) have demonstrated significant potential for enhancing the efficiency of solar cells, batteries, supercapacitors, and fuel cells. Additionally, they are widely used in the development of nanocomposites with improved mechanical strength, thermal and electrical conductivity, as well as in biomedical and other technological applications [3,4]. CNTs also show great promise for advancing materials science, biomedicine, and pharmaceuticals [5].

The arc discharge method is one of the earliest and still effective methods for obtaining CNMs, with the discharge parameters and the composition of the carbon precursor playing a critical role [6–8]. In the works [6] and [8], the importance of synthesis parameter selection for controlling morphology, defectiveness, and degree of graphitization is emphasized. Paradise and Goswami [9] focus on industrial aspects and scaling opportunities for synthesis technologies. Special mention should be made of the research [5], dedicated to new forms of carbon structures and their potential in nanotechnology.

Currently, the global market for carbon nanomaterials is valued at approximately $4 billion, with projections indicating a tenfold increase over the next decade. Consequently, there is a growing need not only to scale up their production but also to reduce manufacturing costs to ensure their sustainable and widespread utilization.

Coal is an abundant and cost-effective natural resource that is considered an environmentally friendly and feasible alternative for the efficient production of carbon nanomaterials.

Since coal is a polyaromatic polymer, it can be thermally depolymerized to break down aromatic compounds, leading to the formation of carbon nanotubes (CNTs) using the arc discharge method [6,7]. (Figure 1).



Fig.1 - Currently used methods for CNTs synthesis

Arc discharge was the first technique that led to the discovery of new nanoscale carbon structures. This method enables the synthesis of fullerenes and carbon nanotubes of various shapes, with diameters ranging from 0.4 nm to several tens of nanometers.

The method is carried out by spraying graphite into an electric arc discharge plasma in an inert gas atmosphere (He or Ar). Graphite electrodes serve as the carbon source, with an arc burning between them. This technique forms the foundation of modern technologies for the large-scale production of fullerenes and enables the synthesis of nanotube-containing materials in quantities sufficient for studying their physicochemical properties [8,9].

However, studies focusing on the use of naturally activated coals (in particular, Kazakh coal) are underrepresented in international literature. This work addresses that gap, demonstrating the potential of local coal as a feedstock for producing CNMs.

In recent years, the relevance of carbon nanomaterials (CNMs) has significantly increased due to global sustainable development goals, the transition to low-carbon energy, and the demand for improved energy storage, environmental remediation, and advanced functional nanocomposites. According to Allied Market Research, the global CNM market is expected to exceed USD 20 billion by 2032, with a projected annual growth rate of over 15% [10].

One of the main challenges in CNM production is the high cost of raw materials and the complexity of scaling synthesis. As a result, there is growing interest in alternative carbon sources, particularly natural coals. Studies show that activated carbon can serve not only as an adsorbent but also as a precursor for the synthesis of graphene-like nanomaterials via arc discharge.

The research [11] demonstrated that thermal treatment of coal in an inert atmosphere promotes the formation of carbon nanostructures with high porosity and sorption capacity. scientific work [12] showed the effectiveness of such materials as catalyst carriers in hydrogen reactions and electrochemical devices.

The arc discharge method remains one of the earliest and most effective approaches for CNM synthesis. Its theoretical principles and practical applications are well described in the Great Russian Encyclopedia and works of scientists Zolotarenko and Kozlov demonstrated the potential of the plasma-arc method for producing high-quality CNMs. The textbook ”Materials and Methods of Nanotechnology” (Ural Federal University) also provides a comprehensive overview of synthesis techniques, including arc discharge [13-16].

Further contributions are presented in a dissertation [17], focusing on nitrogen-doped carbon nanofibers and their nanocomposites synthesized using the arc method.

Utilizing local raw materials, such as activated coal from Kazakhstan, presents new opportunities for localized CNM production and highlights their application potential in energy, ecology, and material science.

Materials and methods. There are various methods for producing carbon materials, including preparation and modification of the initial carbon, carbonization and subsequent activation with a gas or chemical reagent. The activation medium (N_2, CO_2 or H_2O) also affects the structural properties of activated carbon. Nitrogen has been found to be a good alternative as an activation medium compared to CO_2 and water vapor. The aim of the study is to investigate the physicochemical properties of carbon nanomaterial obtained by the electro-discharge method based on Taldykol activated carbon to assess its structural, morphological, and sorption characteristics.

The chemical analysis and surface morphology of the carbon nanomaterial (CNM) were investigated using energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) on a scanning electron microscope (SEM) (Quanta 3D 200i) equipped with an EDAX EDS system. The accelerating voltage of the electron beam was set to 15 kV. The elemental composition, structure, and dimensions of the samples were analyzed using energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) on the SEM (Quanta 3D 200i) with an EDAX energy-dispersive analysis prefix. The modification of the carbon structure was

examined through Raman spectroscopy utilizing the method of combinational light scattering.

Results and discussion. In the present study, the thermal decomposition characteristics of Taldykol coal upon heating to 900°C were investigated, and the resulting material balance was analyzed. The Taldykol coal samples were subjected to thermal treatment at 900°C with a controlled heating rate of 5°C/min. The material balance analysis of the coal activation process (Table 1) revealed that heating to 900°C leads to mass redistribution among the solid residue, liquid products, and gaseous emissions. The analysis of the gas composition during pyrolysis indicated that at the early stages (200–400°C), nitrogen and oxygen dominate, with the oxygen concentration gradually decreasing due to the decomposition of functional groups in the coal. Hydrogen evolution increases with temperature, reaching a maximum at 900°C (1.79%), which may indicate the breakdown of hydrocarbon bonds and the development of a porous structure. Methane formation begins at 600°C, reaching its highest concentration (0.14%) at 800°C, suggesting the thermal degradation of organic compounds. Carbon dioxide is primarily released at lower temperatures, peaking at 16.92% at 200°C, and subsequently decreases, likely due to reduction processes leading to carbon monoxide formation (Table 2).

The results of the physicochemical characteristics of the samples and the elemental composition are presented in Tables 3 and 4.

Table 1 - Material balance of ”Taldykol” coal activation at 900°C with a heating rate of 5°C/min

Input materials				Output products			
№	Name	Content		№	Name	Content	
		g	%			g	%
1	Coal ”Taldykol”	300.00	100.00	1	Product (adsorbent)	158.61	52.66
				2	Resin + water	13.00	4.33
				3	Gas	128.39	42.79
	TOTAL	300.00	100.00		TOTAL	300.00	100.00

Table 2 - Gas composition of ”Taldykol” coal upon activation at 900ºC with a heating rate of 5ºC/min

Temperature	Concentration of gases released during pyrolysis				
	H2	N2	O2	CH4	CO2
200 ºC	4,45	60,08	21,35	-	16,92
300ºC	1,17	67,94	12,06	-	0,06
400ºC	1,14	51,23	14,79	-	0,98
500ºC	0,36	55,4	15,51	0,25	1,48
600ºC	0,55	78,74	18,9	2,13	0,71
700ºC	2,36	68,7	11,19	0,01	0,1
800ºC	1,42	64,23	20,8	0,09	0,22
900ºC	1,79	78,36	18,94	0,02	0,39

Table 3 - Results of physicochemical analysis of activated ”Taldykol” coal

Name of activated adsorbent	W_t^r,%	A^r,%	V^d, %	$V_{\sum}$ (water), cm3/g	ρ_{bulk}, g/cm3	$pH_{\text{aqueous extract}}$	$A_{m.o.}$, mg/g	$A_{m.b.}$, mg/g	A_{iodine}, %
Activated ”Taldykol” coal	29.38	19.23	42.55	0.59	0.70	07.05	39.01	33.50	43.44

Coal ”Taldykol” with such physico-chemical characteristics can be used for the production of nanomaterials. Its high porosity (pore volume of 0.59 cm³/g) and adsorption properties (39.01 mg/g for methyl orange and 43.44% for iodine) indicate a large surface area, which is a key factor for creating and applying nanomaterials, especially in processes where interaction with molecules and particles is important.

Additionally, the low bulk density (0.70 g/cm³) and moderate ash content (19.23%) can be advantageous in the synthesis of carbon nanomaterials, such as carbon nanoparticles or carbon nanotubes. These properties make ”Taldykol” coal a promising candidate for use in technologies such as the production of nanomaterials for adsorption, hydrogen storage, as well as for the development of catalysts and filtering materials.

Table 4 - Results of the elemental composition of the nanomaterial obtained based on Taldykol coal

№	Name	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Cl	K	N	Fe	Zn
1	Activated ”Taldykol” coal	70.8	19.9	2.16	0.29	3.16	2.89	0.22	0.49	-	-	-	-	-
2	100 A reactor wall	55.8	32.5	0.62	-	1.52	4.58	0.67	0.40	0.25	0.82	-	-	-
3	100 A electrode surface	23.1	34.7	0.38	-	4.51	17.8	-	-	-	-	19.5	-	-
5	The lower part of the 200 A reactor walls	35.8	23.0	1.73	0.41	05.01	30.0	0.75	0.49	0.28	1.99	-	0.32	0.18
6	The upper part of the wall of a 200 A reactor	45.5	37.1	0.49	0.34	7.26	7.89	0.25	-	-	1.17	-	-	-
7	200 A on the surface of the electrode	29.3	35.8	1.36	0.36	5.66	12.2	0.27	0.43	-	1.11	13.1	0.16	0.27
8	300 A reactor wall	21.9	52.6	-	-	9.65	9.40	-	-	-	-	-	6.33	-
9	300 A electrode surface	-	63.4	4.21	-	-	4.20	-	13.3	0.53	3.95	-	-	-

Elemental analysis confirms that as a result of arc discharge treatment of activated Taldykol coal, there is not only a redistribution of carbon and oxygen, but also intensive formation of

oxide phases of silicon, aluminum, iron, and other metals. This indicates a deep transformation of the material's structure, which must be considered when selecting synthesis conditions for nanomaterials, especially graphene-like structures. At currents of 200–300 A, the formation of oxide phases and high-quality graphene-like structures is observed.

The morphology of the nanomaterials obtained by the electric arc discharge method was studied at different scales using scanning electron microscopy (SEM). Figure 2 shows the results of the SEM analysis.

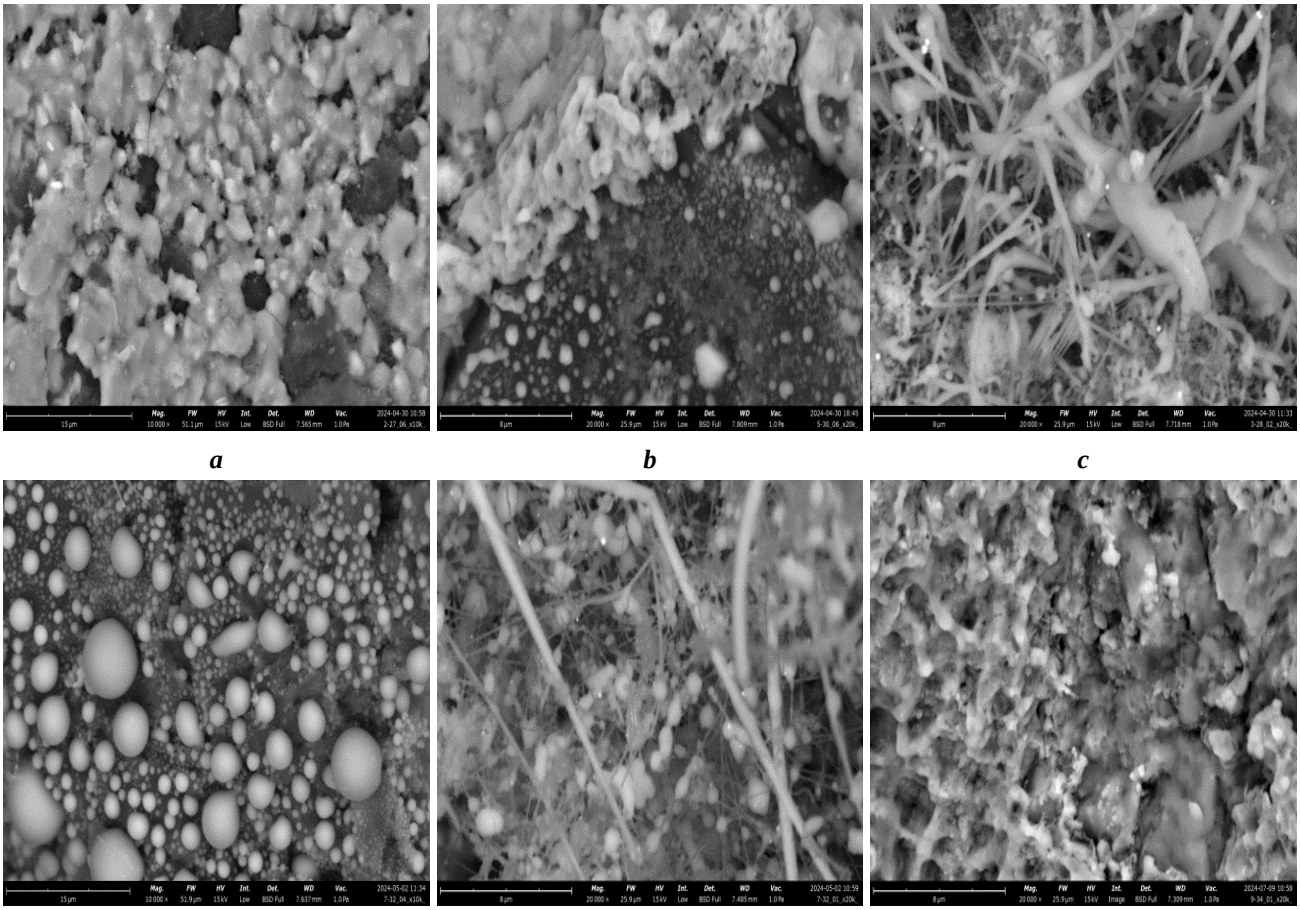


Fig.2 - Results of SEM analysis of carbon nanomaterial obtained on the basis of "Taldykol" activated carbon by the electric arc discharge method:

a- reactor wall 100 A; b, c - electrode surface 100 A; d, e - electrode surface 200 A; f - electrode surface 300 A

The treatment of "Taldykol" coal using an electric arc discharge at various currents leads to significant changes in its microstructure, expanding its potential for use in high-tech applications. After treatment at a current of 100 A, SEM images (a) show pores ranging from 1.88 to 0.38 µm on the reactor walls, indicating an increase in the coal' s porosity. This enhances its adsorption properties, allowing the coal to efficiently absorb various substances, including gases and liquids. After treatment at 100 A, SEM images (b) of the electrode surface reveal the formation of silicon oxide micro-particles ranging from 0.36 to 0.85 µm, which may improve the thermal and chemical properties of the coal, as well as make it suitable for use as a catalyst or filtering component.

Additionally, SEM image (c) after treatment

at 100 A shows fibers on the electrode surface with diameters ranging from 0.62 to 0.24 μm, which may indicate the formation of carbon nanostructures, enhancing the coal' s adsorption properties and mechanical strength. After treatment at 200 A, SEM image (d,e) of the electrode surface shows the formation of silicon oxides ranging from 0.33 to 1 μm, indicating continued microstructural changes that contribute to improved physicochemical characteristics of the coal.

Thus, the treatment of "Taldykol" coal with an electric arc discharge significantly improves its microstructure, forming pores, fibers, and oxides, thereby expanding its potential in various industries such as adsorption, catalysis, and nanomaterial development.

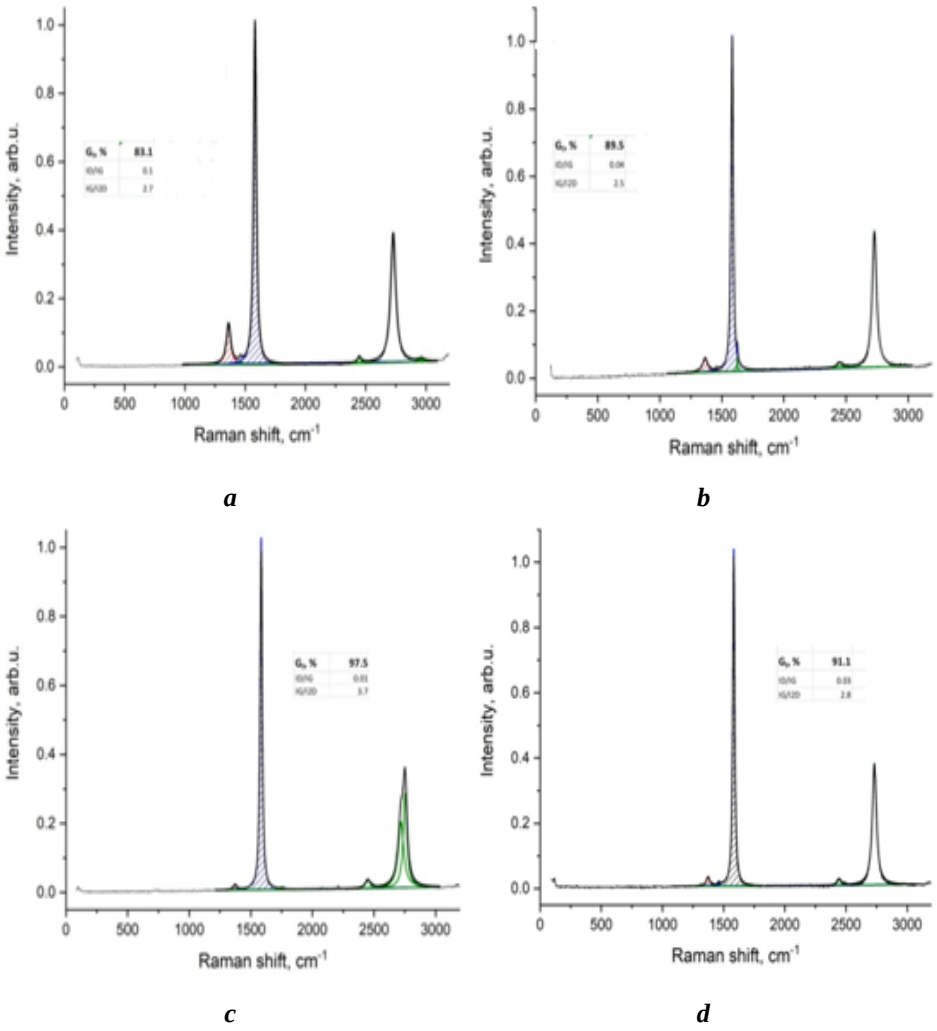


Fig.3 - Results of Raman spectroscopy analysis of carbon nanomaterial obtained on the basis of "Taldykol" activated carbon by the electric arc discharge method:

a - reactor wall 100 A; b - reactor wall 200 A; c - electrode surface 200 A; d - reactor wall 300 A

Raman spectroscopy plays a key role in the study and characterization of nanomaterials, providing important information about the structure, composition, and properties of the materials, which is necessary for their further use in various high-tech applications. The results of Raman spectroscopy are shown in Figure 3.

The results obtained after the treatment of "Taldykol" activated coal using the electric arc discharge method at various currents demonstrate

high-quality graphene-like nanomaterials with different degrees of graphitization. At a current of 100 A and 75 V a graphene-like material with a graphitization degree of Gf = 83.1% was obtained from the reactor wall. The ID/IG ratio of 0.1, IG/I_2D ratio of 2.7, and I_2D/IG ratio of 0.4 indicate a high-quality carbon structure with a low defect count and well-defined graphite layers. At a current of 200 A the lower part of the reactor yielded a graphene-like material with a higher graphitization degree of G_f = 89.5%. The ID/IG ratio of 0.04, IG/I_2D ratio of 2.5, and I_2D/IG ratio of 0.4 confirm an improved structure with reduced defectiveness and a more pronounced graphite nature. Moreover, the material consists of multilayer graphene (5-10 layers), indicating its high quality. At 200 A on the electrode a graphene-like nanomaterial with a graphitization degree of G_f = 97.5% was obtained. The ID/IG ratio of 0.01, IG/I_2D ratio of 3.7, and I_2D/IG ratio of 0.2 show nearly ideal structure with minimal defects and maximum graphitization. This material represents high-quality graphite with a well-developed crystalline structure. Finally, at a current of 300 A a graphene-like material with a graphitization degree of G_f = 91.1% was obtained from the reactor wall. The ID/IG ratio of 0.03 and IG/I_2D ratio of 2.8 confirm a high-quality structure. The material consists of multilayer graphene (7-10 layers) and also exhibits high-quality characteristics.

Thus, the results of ”Taldykol” coal treatment using electric arc discharge show that increasing the current improves the degree of graphitization and the quality of the obtained graphene-like nanomaterials. The materials produced can be applied in energy storage, catalysis, and other high-tech fields requiring high-quality carbon nanomaterials.

Conclusion. The treatment of activated Taldykol coal using the electric arc discharge method at various currents (100 A, 200 A, and 300 A) significantly alters its microstructure, opening new prospects for the application of the obtained nanomaterials in high-tech fields. After treatment at 100 A and 75 V, pores ranging from 1.88 to 0.38 μm were observed on the reactor walls, indicating a significant increase in porosity. These changes enhance the coal’ s adsorption properties, allowing it to effectively absorb various substances, including gases and liquids. After treatment at 100 A, the surface of the electrode exhibited the formation of micro-particles of silicon oxides with sizes ranging from 0.36 to 0.85 μm, which can improve the thermal and chemical characteristics of the coal, as well as expand its use as a catalyst or filtration component.

Raman spectroscopy, conducted for the analysis of the obtained nanomaterials, showed a high degree of graphitization. Specifically, at currents of 100 A, 200 A, and 300 A, the degree of graphitization was as follows: for 100 A (75 V), G_f = 83.1%; for 200 A at the lower part of the reactor, G_f = 89.5%; for 200 A at the electrode, G_f = 97.5%; and for 300 A at the reactor wall, Gf = 91.1%. These values indicate a high level of graphitization with increasing current, which is confirmed by low ID/IG ratios (from 0.01 to 0.1) and high IG/I_2D ratios (from 2.5 to 3.7). The obtained nanomaterials also contain multilayer graphene with a layer count ranging from 5 to 10.

Thus, the treatment of Taldykol coal using electric arc discharge significantly improves its microstructure, increasing porosity, adsorption properties, and the degree of graphitization. The results of Raman spectroscopy confirm the high quality of the obtained graphene-like nanomaterials with low defectiveness. These materials have potential applications in fields such as energy, catalysis, filtration, and the development of nanomaterials requiring high-quality carbon materials.

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. Bagotia N., Chaudhary V., Sharma D.K. A review on the mechanical, electrical and EMI shielding properties of carbon nanotubes and graphene reinforced polycarbonate nanocomposites // Polymers for Advanced Technologies.- 2018.-Vol.29(6).-P.1547-1567. DOI 10.1002/pat.4277.

2. Bagotia N., Choudhary V., Sharma D.K. Synergistic effect of graphene/multiwalled carbon nanotube hybrid fillers on mechanical, electrical and EMI shielding properties of polycarbonate/ethylene methyl acrylate nanocomposites //Polymer Testing.- 2019. - Vol.159. - P. 378-388. DOI 10.1016/j.compositesb.2018.10.009.

3. Abdalla S., Al-Marzouki F., Al-Ghamdi A.A., Abdel-Daiem A. Different Technical Applications of Carbon Nanotubes // Nanoscale Reseach Letters. -2015.-Vol.10:358. DOI 10.1186/s11671-015-1056-3.

4. In J.B., Noy A. Chapter 3. Nanotechnology’s wonder material: synthesis of carbon nanotubes / Hierarchical Nanostructures for Energy Devices. - Cambridge: Royal Society of Chemistry. - 2014. - P.26- 58. DOI 10.1039/9781849737500-00026.

5. Peng Q., Dearden A.K., Crean J., Han L., Liu S., Wen X., De S. New materials graphyne, graphdiyne, graphone, and graphane: review of properties, synthesis, and application in nanotechnology//Nanotechnol Science and Applications.- 2014.- Vol.7.- P.1–29. DOI 10.2147/NSA.S40324.

6. Prasek J., Drbohlavova J., Chomoucka J., Hubalek J., Jasek O., Adam V., Kizek R. Method for carbon nanotubes synthesis – review // Journal of Materials Chemistry. -2011. -Vol.21(40). - P.15872- 15884. DOI 10.1039/c1jm12254a.

7. Ghodselahi T., Solaymani S., Akbarzadeh Pasha M., Vesaghi M.A. Ni nanoparticle catalyzed growth of MWCNTs on Cu Nps@ a-C: H substrate// The European Physical JournalD. - 2012. - Vol.66: 299. - P.1 - 5. DOI 10.1140/epjd/e2012-30074-8.

8. De Volder M.F., Tawfick S.H., Baughman R.H., Hart A.J. Carbon nanotubes: present and future commercial applications//Science.-2013.-Vol.339(6119).-P.535–539. DOI 10.1126/science.1222453.

9. Paradise M., Goswami T. Carbon nanotubes-production and industrial application// Materials and Design.- 2007. -Vol.28(5).-P.1477-1489. DOI 10.1016/j.matdes.2006.03.008.

10. Allied Market Research. Carbon Nanomaterials Market by Type and Application: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2022–2032. URL: https://www.alliedmarketresearch.com. - Accessed: 16.04.2025.

11. He H., Zhang R., Zhang P., Wang P., Chen N., Qian B., Dai B. Functional carbon from nature: biomass-derived carbon materials and the recent progress of their applications // Advanced science, - 2023. - Vol.10(16), - P.2205557. DOI 10.1002/advs.202205557.

12. Deng J., Li M., Wang Y. Biomass-derived carbon: synthesis and applications in energy storage and conversion//Green chemistry.-2016. -Vol.18(18). -P.4824-4854. DOI 10.1039/C6GC01172A.

13. Metod elektrrodugovogo razryada // Bol’ shaya rossiyskaya entsiklopediya. URL: https://bigenc.ru. - Accessed: 16.04.2025. [In Russian]

14. Zolotarenko A.A., Kozlov A.V. Sintez uglerodnykh nanomaterialov plazmenno-dugovym metodom // Vestnik Tomskogo politekhnicheskogo universiteta.-2018.-T.329 (3).- S.25-32. URL: https://www.researchgate.net. - Accessed: 16.04.2025. [In Russian].

15. Materialy i metody nanotekhnologiy: ucheb. posobie / pod red. I.V. Meshcheryakova. – Ekaterinburg: UrFU. - 2013.-152 s. URL: https://elar.urfu.ru. - Accessed: 16.04.2025. [In Russian].

16. Buyantuev S. L., Mognonov D. M., Kondratenko A. S., Shishul’ kin S. Yu., Badmaev S. S., Dorzhiev D. V. Issledovanie processov termicheskoj aktivacii uglejv plazme elektricheskogo razryada s polucheniem sorbentov i uglerodnyh nanomaterialov //Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Himiya.

Fizika. - 2018. - №(2-3). - S.82-91. URL: https://cyberleninka.ru. - Accessed: 16.04.2025. [In Russian].

17. Uglerodnye nanovolokna, dopirovannye azotom, i nanokompozity na ikh osnove: dis. … kand. tekhn. nauk. -M.,2020.- 183 s. - DisserCat. URL: https://www.dissercat.com. - Accessed: 16.04.2025. [In Russian]

Information about the authors

Kazankapova M.K. - PhD in Philosophy, Associate Professor, Corresponding Member of KazNAEN, Leading Researcher, Head of Laboratory of LLP ”Institute of Coal Chemistry and Technology”, Astana, Kazakhstan, e-mail: maira_1986@mail.ru;

Yermagambet B.T. - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of KazNAEN, Project Manager, Chief Researcher, Director of LLP ”Institute of Coal Chemistry and Technology”, Astana, Kazakhstan, e-mail: coaltech@bk.ru;

Kassenova Zh.M. - Candidate of Chemical Sciences, Deputy Director of LLP ”Institute of Coal Chemistry and Technology”, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanar_k_68@mail.ru;

Akshekina A.S. - Senior Lab Assistant «Institute of Coal Chemistry and Technology», master student Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: akshekina11@gmail.com;

Mendaliyev G. K. - Junior Researcher «Institute of Coal Chemistry and Technology», master student Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: ganimen02@mail.ru;

Malgazhdarova A.B. - Junior Researcher «Institute of Coal Chemistry and Technology», master student Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: malgazhdarova.ab@mail.ru;

Dauletzhanova Zh. T. - 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;

Kozhamuratova U.M. - Junior Researcher «Institute of Coal Chemistry and Technology», master student Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: kozhamuratova.u@mail.ru.

Сведения об авторах

Казанкапова М.К. - PhD, асс. профессор, чл.-корр. КазНАЕН, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией ТОО «Институт химии и технологии угля», Астана, Казахстан, e-mail: maira_1986@mail.ru;

Ермагамбет Б.Т. - доктор химических наук, профессор, академик КазНАЕН, руководитель проекта, главный научный сотрудник, директор ТОО «Институт химии и технологии угля», Астана, Казахстан, e-mail: coaltech@bk.ru;

Касенова Ж.М. - кандидат химических наук, заместитель директора ТОО «Институт химии и технологии угля», Астана, Казахстан, e-mail: zhanar_k_68@mail.ru;

Акшекина Ә.С. – старший лаборант ТОО «Институт химии угля и технологии», магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: akshekina11@gmail.com; Малғаждарова А.Б. – младший научный сотрудник ТОО «Институт химии угля и технологии», магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: malgazhdarova.ab@mail.ru

Мендалиев Г.К. - младший научный сотрудник ТОО «Институт химии угля и технологии», магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: ganimen02@mail.ru

Даулетжанова Ж.Т. - доктор PhD, доцент Казахского университета технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, ведущий научный сотрудник ТОО «Институт Химии угля и технологии», Астана, Казакстан e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru.

Қожамұратова Ұ.М. - младший научный сотрудник ТОО «Институт химии угля и технологии», магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: kozhamuratova.u@mail.ru.

ҒТАМР 31.21.25 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1187**

АЗОТТАН ТҰРАТЫН ҚОСАРЛАНҒАН АЗУЛЕН ҚОСЫЛЫСТАРЫНЫҢ ФОТОФИЗИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

[1]Н. Мерхатұлы, [1]А.Н. Искандеров✉, [2]С.К. Жокижанова, [1]А.Н. Искандеров, [3]Х.Б. Омаров, [4]П. Войтишек

[1]Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[2]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Қ.Құлажанов атындағы технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[4]Карлов университеті, Прага, Чех Республикасы
✉*Корреспондент-автор: aby93@yandex.kz*

Ерекше құрылымға ие ароматты көмірсутек азулен, жаңа органикалық функционалды материалдар құру бойынша перспективті модульді компонент ретінде өте жиі қарастырылып жатыр. Оның тартымдылығы арнайы полярланған құрылымы және ерекше электронды, оптикалық қасиеттеріне негізделген.

Осы жасалынған жұмыста жоғары шығыммен жаңа қосарланған азулендер синтезделді: 2,6-бис(9*H*-карбазолил)-азулен **5** және 1,3-дикарбонитрил-2,6-бис(9*H*-карбазолил)-азулен **7.** Бұл қосылыстар 380 - 600 нанометр аймағында көрінетін жарықты әрі сіңіретін, әрі шығаратын маңызды қасиетті көрсете алады. Зерттеулер көрсеткендей бастапқы азуленде байқалмайтын осындай фотофизикалық ерекше қасиеттер, көбінесе фотолюминесценцияның көк және күлгін аймақтарында қарқынды сәулеленуі, азулендегі C_1, C_2, C_3 и C_6 орындарда карбазолильді және карбонитрильді орынбасушылардың донорлы-акцепторлық әсеріне негізделген. Осы әсер азуленнің электронды құрылысын қатты өзгертеді, яғни HOMO → LUMO рұқсат етілген электрондық ауысуға мүмкіндік береді. DFT есептеулер эксперименттік натижелерді дәлелдейді, азуленнің электронды құрылысындағы өзгерістерді көрсете отырып, бұрын тыйым салынған санатқа жататын π→π* рұқсат етілген электронды ауысуға әкелгенін көрсетті.

Алынған нәтижелер оптоэлектронды және фотонды құрылғыларда азулен негізінде алынған жаңа қосарланған қосылыстарды жобалаудың ұтымды тәсілін қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: азулендер, карбазолилазулендер, карбонитрилазулендер, қосарланған азулендер, сіңіру спектрлері, флуоресценция спектрлері.

ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОПРЯЖЕННЫХ АЗУЛЕНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

[1]Н. Мерхатұлы, [1]А.Н. Искандеров✉, [2]С.К. Жокижанова, [1]А.Н. Искандеров, [3]Х.Б. Омаров, [4]П. Войтишек

[1]Карагандинский университет имени Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан,
[2]Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфулина, Астана, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[4]Карлов университет, Прага, Чешская Республика,
e-mail: aby93@yandex.kz

Ароматический углеводород азулен, с уникальной структурой, все чаще рассматривается как перспективный модульный компонент для создания новых органических функциональных материалов. Его привлекательность обусловлена специфической поляризованной структурой и уникальными электронными и оптическими свойствами. В данной работе с высокими выходами синтезированы новые сопряженные азулены: 2,6-бис(9*H*-карбазолил)-азулен **5** и 1,3-дикарбонитрил-2,6-бис(9*H*-карбазолил)-азулен **7.** Эти соединения демонстрируют значительную способность как поглощать, так и излучать видимый свет в области от 380 до 600 нанометров. Исследования показали, что такие уникальные фотофизические свойства, в частности интенсивное излучение в

синей и фиолетовой области фотолюминесценции (λем при 460 и 410 нм), отсутствующее у исходного азулена, обусловлены донорно-акцепторным влиянием карбазолильных и карбонитрильных заместителей в положениях C_1, C_2, C_3 и C_6 азулена. Это влияние сильно меняет электронное строение азулена, что приводит к возможности разрешенного электронного перехода HOMO → LUMO. DFT расчеты подтверждают экспериментальные результаты, показывая изменения в электронной структуре азулена, которые приводят к разрешенному электронному переходу π→π*, ранее квалифицированных как запрещенные.

Полученные результаты обеспечивают рациональный подход к конструированию новых сопряженных соединений на основе азулена для применения в оптоэлектронных и фотонных устройствах.

Ключевые слова: азулены, карбазолилазулены, карбонитрилазулены, сопряженные азулены, спектры поглощения, спектры флуоресценции

PHOTOPHYSICAL PROPERTIES OF NITROGEN-CONTAINING CONJUGATED AZULENES

[1]N. Merkhatuly, [1]A.N. Iskanderov✉, [2]S.K. Zhokizhanova, [1]A.N. Iskanderov, [3]Kh.B. Omarov, [4]P. Vojtishek

[1]Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan,
[2]Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifulin, Astana, Kazakhstan,
[3]Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,
[4]Charles University, Prague, Czech Republic,
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 appeal stems from its specific polarised structure and unique electronic and optical properties. In this work, new conjugated azulene derivatives were synthesised with high yields: 2,6-bis(9H-carbazolyl)-azulene **5** and 1,3-dicarbonitrile-2,6-bis(9H-carbazolyl)-azulene **7**. These compounds have a pronounced ability to absorb and emit visible light in the range from 380 to 600 nanometres. Research has revealed that their unusual photophysical characteristics, including intense blue and violet light emission during photoluminescence (at wavelengths of 460 and 410 nm), which is absent in the original azulene, are associated with the donor-acceptor interaction of the carbazolyl and carbonitrile groups located at positions C_1, C_2, C_3 and C_6 of the azulene molecule. This influence significantly alters the electronic structure of azulene, leading to the possibility of a permitted HOMO → LUMO electronic transition. DFT calculations confirm the experimental results, showing changes in the electronic structure of azulene that lead to an allowed π→π* electronic transition, previously classified as forbidden. The obtained results provide a rational approach to the development of new azulene-based conjugated compounds for use in optoelectronic and photonic devices.

Key words: azulenes, carbazolylazulenes, carbonitrilazulenes, conjugated azulenes, absorption spectra, fluorescence spectra

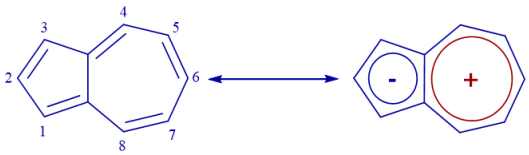
Кіріспе. Кеңейтілген π-электронды қосарланған жүйелі ароматты молекулалардың кең қолданыс табуы, олардың оптоэлектроникада функционалды материал ретінде маңызды роль атқаруына негізделген. Кейінгі уақытта ароматты және гетероароматты қосылыстарға, әсіресе өзгеріске ұшыраған арилды топтарға және акцепторлы және/немесе донорлы қасиеттері бар топтарға көп қызығушылық білдіріп жатыр. Мысалы, өздерінің маңызды электрдонорлы қасиеттерімен белгілі дифениламинонафталиндер және дифениламиноантрацендер әртүрлі салаларда органикалық жартылай өткізгіштер, тотығу - тотықсыздану реакцияларына қатысатын және органикалық сәуле шығаратын диодтар (OLEDs) мен металлорганиклық қаңқалар (MOFs) құратын материалдар ретінде зерттеушілредің назарын өздеріне аударып отыр [1-5].

Ароматты жүйелердің басты артықшылығы - материалдардың электронды құрылымын дәл реттеу қабілеті, олардың морфологиясын оптимизациялап тиімділігін арттыру болып табылады. Осы мақсатта нафталиннің құрылымдық изомеры – азуленге ерекше назар аудару керек [6,7].

Азулен ерекше ароматты көмірсутек, ол өзіне тән құрылымына байланысты ерекше электрондық және спектрлік қасиеттерге ие. Олардың қатарына дипольдік құрылымы (μ 1,08 D) [8] және Каши ережесіне сай келмейтін флуоресценция жатады, мұнда $S_2 \rightarrow S_0$ ауысуы байқалады [9]. Азуленнің құрылысын тропилий катионы мен циклопентадиенил анионы конденсациясының нәтижесінде пайда болған жүйе ретінде сипаттауға болады (1а – суретте көрсетілгендей). Бұл ерекше құрылымдық архитектура жиі кездесетін ароматты көмірсутекпен салыстырып қарағанда HOMO деңгейінің биіктеуіне және LUMO –нің төмендеуіне алып келеді [6]. Оның 1 және 3 орындары HOMO деңгейіндегі үлкен атомдық орбиталь коэффициенттер көрсетеді, ал 2 мен 6 орындары HOMO-1 және LUMO үлкен коэфициенттеріне ие [6]. Түссіз нафталиннен айырмашылығы, азулен қою көк түске ие, ол S_0 - S_1 көшумен байланысты сіңіруді көрсетеді (λmax шамамен 580 нм тең). Бұл рұқсат етілген π- π* электронды ауысу үшін молярлық коэфициентті өте аз (350 $M^{-1}см^{-1}$) [10].

Осыған сәйкес, оны донорлық және акцепторлық топтар қосу арқылы модификациялау азуленнің электрондық қасиеттерін түпкілікті өзгертеді, нәтижесінде ерекше оптикалық-электрондық қасиеттері бар жаңа функционалдық материалдарды дайындап шығаруға мүмкіндік береді.

Осы жұмыста карбазолил және карбонитрил топтары бар, жаңа қосарланған азуленнің сәтті синтезі жүзеге асырылғаны жайлы баяндалады. Жоғары пайызбен 2,6-бис(9Н-карбазолил)-азулен **5** және 1,3-дикарбонитрил-2,6-бис(9Н-карбазолил)-азулен **7** синтезделіп алынды. Жұмыста **5** және **7** қосылыстардың фотофизикалық қасиеттерінің талдаулары берілген, нәтижелерге сәйкес, аталған құрылымдар HOMO мен LUMO деңгейлері арасында рұқсат етілген электрондық өтуге мүмкіндік береді, нәтижесінде көрінетін спектр диапазонында күшті сіңіру мен сәуле шығару сызықтарының пайда болуын қамтамасыз етеді.



1

1 - сурет. Азуленнің 1 поляризацияланған резонанстық құрылымы

Материалдар мен әдістер. ^{1}H және ^{13}C ЯМР спетрлері JNM-ECA 500 (Jeol, Tokyo, Japan) спектрометрінде (еріткіш DMSO-D_6, жұмыс жиілігі ^{1}H үшін 500 МГц және ^{13}C үшін 126 МГц) алынды. ИҚ-спектрлер (KBr таблетка) Avatar-360 (Thermo Nicolet, USA) спектрометр көмегімен түсірілді. Thermo Electron Corporation (Thermo Fisher Scientific Inc, USA) компаниясының DFS масс-спектрометр көмегімен жоғары айырымдылықтағы масс-спектрлер (HRMS) түсірілді. Shimadzu UV-1800 (Shimadzu, Japan) спектрофотометрінде УК-көрінетін спектрлері алынды. Флуоресценция спектрлері Agilent Cary Eclipse (Agilent Technologies, USA) флуориметр құрылғысында жүргізілді. Buchi M-560 (Buchi, Switzerland) құрылғысында қосылыстардың балқу температурасын анықталды. **5** және **7** қосылыстың жұқа қабықшасы spin-coating (Spin-Coater SPIN150i, Germany) әдісімен (10 мг/мл хлорбензолда, 1000 айналым/минутында 60 секунд бойы жүргізілді) дайындалды.

2,6-Бис(9*H*-карбазолил)-азулен (5). Құрғақ толуолда (30 мл) дибромазуленді **3** (286 мг, 1,00 ммоль) және карбазолды **4** (462 мг, 3,00 ммоль) еріттік. Сосын, бөлме температурасындағы аргон ағынында ерітіндіге ацетат палладия (II) (12 мг, 0,05 ммоль), *t*-BuOK (1,57 г, 14,0 ммоль) және *t*-Bu_3PHBF_4 (3,0 мг, 0,01 ммоль) қостық.3 сағат ерітіндіні қайнатып, целит көмегімен фильтрледік. Органикалық еріткішті Na_2SO_4 көмегіен сусыздандырып, еріткішті вакуумда буландырдық. Силикагель негізінде колонкалық хроматография көмегімен өнім-

ді тазаладық. Элюенттік жүйе ретінде DCM және гексанның 1:9 қатынасы қолданылды. Тазаланған өнім DCM еріткішінде қайта кристалдануға ұшырады. Нәтижесінде 80% шығыммен 367 мг қою қоңыр түсті қатты өнім алынды. Балқу температурасы. 153-154°C. УК-спектрі (ν, $см^{-1}$): 2990, 2850, 1571, 1448, 1395, 1340, 1230, 1201. ЯМР^{1}Н спектрі: δ 8.25 (д, J = 7.6 Гц, $4H^{1,8}_{Cz}$), 8.06 (д, J = 7.6 Гц, $4H^{4,5}_{Cz}$), 8.00 (д, J = 8.2 Гц, $2H^{4,8}_{Az}$), 7.76 (с, $2H^{1,3}_{Az}$), 7.50 – 7.43 (м, $2H^{5,7}_{Az}$), 7.39-7.33 (м, $8H^{2,3,6,7}_{Cz}$). ЯМР^{13}С спектрі: δ 144.78, 140.22, 139.93, 136.85, 136.33, 127.17, 125.97, 125.31, 124.18, 122.89, 121.70, 121.08, 120.62, 118.95, 111.42, 111.01. Жоғары айырымдылықтағы масс-спектр (HRMS, ESI): *m/z* анал. есеп үшін $C_{34}H_{22}N_2$ $[M]^+$: 458.2451, табылды 458.2452.

1,3-Дибром-2,6-бис(9*H*-карбазолил)-азулен (6). **5** (230 мг, 0,5 ммоль) қосылысты CH_2Cl_2 (5 мл) еріткіште еріттік. Ерітіндіге -78^{0}C температурада аргон атмосферасында NBS (195 мг, 1,1 ммоль) CH_2Cl_2 (20 мл) ерітілген ерітіндіні жайлап қостық.2 сағат бойы ерітіндіні араластырдық. Сосын ерітіндіні қаныққан $NaHCO_3$ сулы ерітіндісімен бейтараптандырдық. Органикалық фазаны бөліп алып, бейтарап ортаға жеткенше сумен жудық. Сосын органикалық қабатты Na_2SO_4 қолдана кептірдік және алюминий оксиді көмегімен фильтрледік. Роторлық буландырғыш көмегімен еріткішті концентрлеп және қайта кристалдандыру CH_2Cl_2 еріткішінде жүргізіп қою жасыл қатты 553 мг (90 %) өнім алдық. Балқу температурасы 220-222^{0}C. УК-спектрі (ν, $см^{-1}$): 2920, 2851, 1581, 1462, 1385, 1269, 725. ЯМР^{1}Н спектрі: δ 8.27 (д, J = 7.7 Гц, $4H^{1,8}_{Cz}$), 8.10 (д, J = 7.8 Гц, $4H^{4,5}_{Cz}$), 7.99 (д, J = 8.6 Гц, $2H^{4,8}_{Az}$), 7.52 – 7.41 (м, $2H^{5,7}_{Az}$), 7.40-7.30 (м, $8H^{2,3,6,7}_{Cz}$). ЯМР^{13}С спектрі: δ 144.78, 140.22, 138.87, 137.35, 136.85, 135.85, 128.77, 125.67, 123.90, 122.82, 121.70, 121.08, 120.66, 113.57, 111.27. Жоғары айырымдылықтағы масс-спектр (HRMS, ESI): *m/z* анал. есеп $C_{34}H_{20}{}^{79}Br_2N_2$ $[M]^+$ үшін: 614.0686, found: 614.0678.

1,3-Дикарбонитрил-2,6-бис(9*H*-карбазолил)-азулен (7). 1,3-Дибром-2,6-карбазолилазуленді **6** (307 мг, 0,5 ммоль) диметилформамидте (10 мл) араластырлып жатқан ерітіндіге CuCN (178 мг, 2,2 ммоль) қостық. Ары қарай қоспаны 6 сағат бойы қайнаттық. Сосын ерітіндіні суытып аммиактың сулы ерітіндісін (40 мл) қосып, тағыда 5 сағат араластырдық. Түзілген тұнбаны фильтрлеп, гексан/DCM ерітіндісінің 9:1 қатынасында силикагель негізінде колонкалық хроматография жүргіздік. DCM ерітіндісінде қайта кристалдандырып, қою қоңыр түсті 406 мг (80%) өнім алдық. Балқу температурасы 303-305^{0}C. УК-спектрі (ν, $см^{-1}$): 2925, 2853, 2202, 1504, 1412, 1385, 1280, 740; ЯМР^{1}Н спектрі: δ 8.73 (д, J = 9.7 Гц, $4H^{1,8}_{Cz}$), 8.48 (д, J = 9.8 Гц, $4H^{4,5}_{Cz}$), 8,14 (д, J = 8.0 Гц, $2H^{4,8}_{Az}$), 7.75 – 7.68 (м, $2H^{5,7}_{Az}$), 7.61-7.38 (м, $8H^{2,3,6,7}_{Cz}$). ЯМР^{13}С спектрі: δ 144.78, 140.22, 138.87, 137.35, 136.85, 135.85, 128.77, 125.67, 123.90, 122.82, 121.70, 121.08, 120.66, 113.57, 111.27. Жоғары айырымдылықтағы масс-спектр (HRMS, ESI): *m/z* анал. есеп $C_{36}H_{20}N_4$ $[M]^+$ үшін: 508.3951, табылды: 508.3953

Нәтижелер мен талқылау. 1 және 2 схемадағы қосарланған азуленді қосылыстардың 2,6-бис(9Н-карбазолил)-азулен **5** және 1,3-дикарбонитрил-2,6-бис(9Н-карбазолил)-азулен 7 түзілуіне әкелетін әртүрлі синтетикалық жолдарды бейнелейді.

1-ші схема ([11] жұмыста сипаттағандай) $(Bpin)_2$ мен Ir- катализаторын қолдана отырып **1**-ді C_2-Н-борилдеу арқылы негізгі диборилазуленнің **2** алынуын көрсетеді. Әрі қарай диборил **2** мыс бромидымен сәтті әрекеттесіп, нәтижесінде 2,6-дибромазулен **3** түзіледі. Бұл өнімнің шығымы 70% [12].

Соңғы **5** өнімнің алынуы, **3** және карбазол **4** кросс-бірігу арқылы палладий катализаторының қатысында жоғары шығыммен (80%) жүзеге асырылды. Дикарбазолилазуленнің **5** NBS әрекеттесуі региоселективті бромдау жағдайында (2 схема) жоғары шығыммен (90 %) дибромидке **6** әкеледі [13]. Кейін **6** DMF-да мыс цианидімен реакциясы мақсатты 7 дикарбонитрилге 80% шығыммен алуға мүмкіндік береді.

Зерттелген **5** және **7** азулендер қою қоңыр түсті тұрақты қатты заттар болып табылады. Бөлме температурасында CH_2Cl_2, $CHCl_3$, C_6

H_5CH_3 и C_6H_5Cl еріткіштерінде ерігіштіктері жақсы екендігін көрсетті.

5, 6 және **7** құрылыстары мен тазалығы физика-химиялық әдістерімен (1H ЯМР, 13C ЯМР, ИҚ және МС) дәлелденді (материалдар мен әдістер бөлімі).

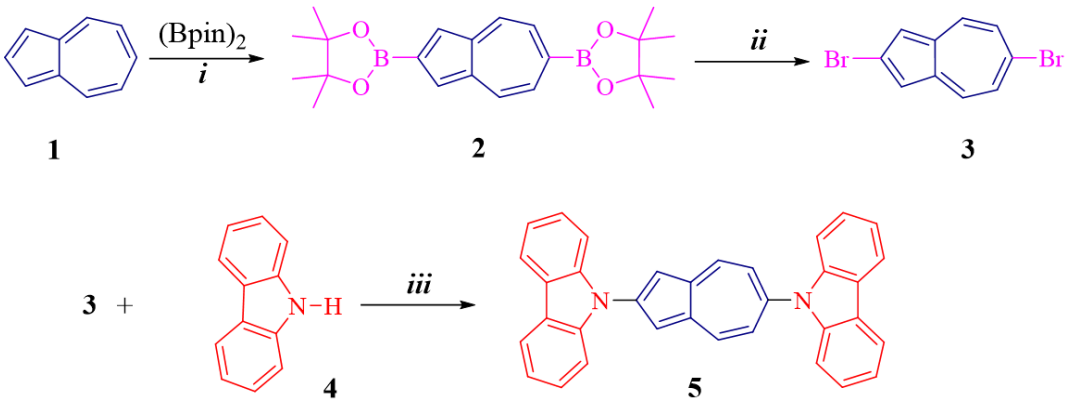


Схема 1 – 5 қосылысының синтезі: (i) $(Bpin)_2$, $[IrCl(cod)]_2$, 2,2'-bpy, циклогексан, қайнату, 70%; (ii) CuBr, DMF, 90°C, 70%; (iii) $Pd(OAc)_2$, t-BuOK, t-Bu_3PHBF_4, толуол, қайнату, 80%.

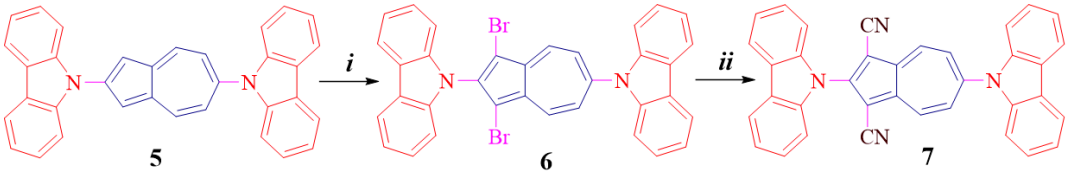


Схема 2 – 7 қосылысының синтезі: (i) NBS, DCM, қайнату, 78°C, 90%. (ii) CuCN, DMF, қайнату, 80%.

Қосылыстардың (**5** және **7)** UV-Vis спектрлері 2 суретте көрсетілген және 1 кестеде олардың мәліметтері берілген. **5** қосылыс сіңіру спектрлерінде (ДСМ) λmax 440 нм кезінде (ε = 34 145 $M^{-1}см^{-1}$) (кесте 1) жаңа сіңіру жолақтары байқалады. Сол сияқты, **7** қосылыс HOMO-LUMO электронды ауысуы 452 нм (ε = 54 117 $M^{-1}см^{-1}$) кезінде күшті сіңіру жолағын көрсетеді. Көрінетін жұтылудың жоғары молярлық коэффициенттері орынбасушылар мен азуленді фрагменттің күшті өзара әрекеттесуі бар екенін дәлелдейді, яғни сіңірудің тиімділігін жоғарылатады.

7 қосылыста көрінетін максимум жұтылуы қызыл аймаққа 12 нм ығысады және **5** максимум жұтылуымен салыстырғанда жоғары тиімділігін көрсетеді. **7** қосылыста π-қосарланудың ұлғаюы және электрондардың делокализациясы оның HOMO-LUMO (сурет.5) энергетикалық айырмасының азаюына әкеледі, яғни **5** салыстырғанда спектрлердегі байқалған батохромдық ауысуға ықпал етеді.

Айрықша атап өтсек, **5** және **7** көрінетін жұтылуы бастапқы азулен **1** қарағанда әлдеқайда жоғары қарқындылыққа иеленеді. Бастапқы азуленнің молярлық сіңіру коэффиценті бар жоғы 350 $M^{-1}см^{-1}$ [10].

Сонымен қатар, **5** және **7** электронды жұтылуы жұқа қабатта (тәжірибелік бөлім, сурет 3) зерттелді.3а суретте берілген спектрлік талдаулар көрсеткендей, **5** және **7** қосылыстарының жұқа қабатта сіңіру қасиеті олардың ерітіндіде жұтылуымен тұтастай алғанда жақын екенін көрсетеді (сурет 3b немесе сурет 2). Алайда, **5** және **7** көрінетін жұтылу максимумдары (сәйкесінше, λmax 440 және 452 нмде) ерітіндімен салыстырғанда 14 және 16 нанометрге ұзын толқындық аймаққа ығысады. Мұндай қызыл ығысулар молекулалар арасындағы өзара әре-

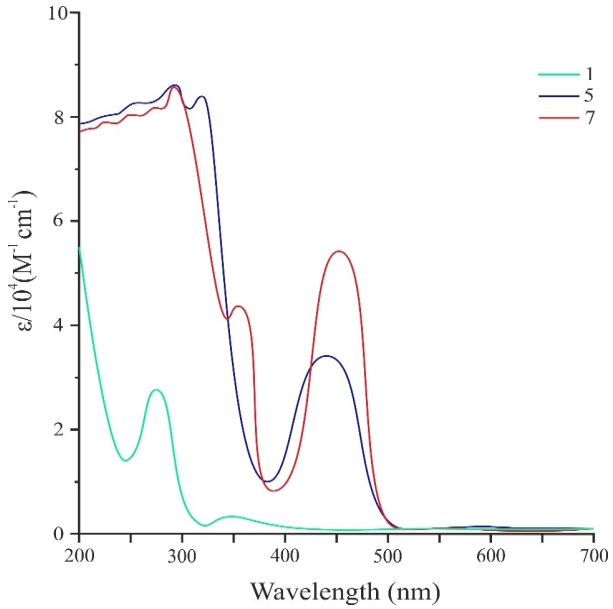
кеттесу нәтижесінде орын алуы мүмкін [13].

Тәжірибеде функционалды материалдар ретінде жиі қолданылатын заттардың сіңіру жолағы 380-500 нм аралықта екенін маңызды атап өту керек [14,15]. Алынған **5** және **7** қосылыстарының сіңіру жолақтары ұзын толқындық диапазонда орналасқан.

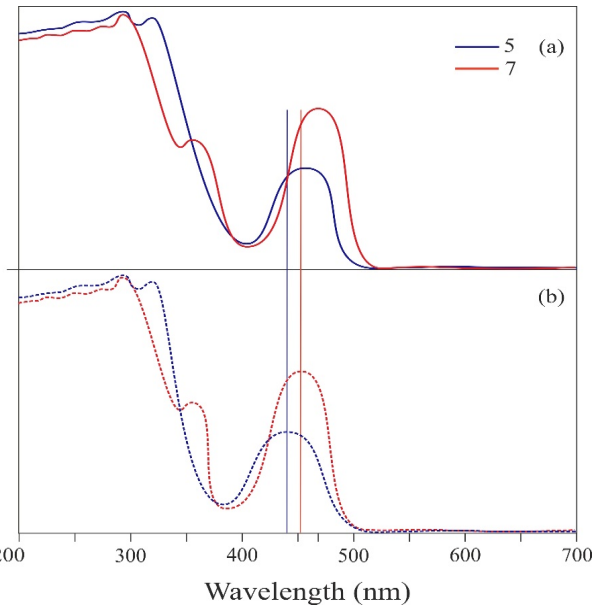
1 - кесте. 5 және 7 UV-Vis және флуоресценция спектрлері мәліметтері

Қосылыстар	Еріткіш	Жұтылу		Флуоресценция b	
		λabs, нм	ε, М-1см-1	λem,нм	Қарқындылығы,у.е.
5	Дихлор-метан	293	86 118	460	566
		320	84 118		
		440	34 145		
7	Дихлор-метан	292	85 652	410	871
		354	43 640		
		452	54 117		

[a] CH_2Cl_2, қоршаған ортаның температурасы, C = 1 × 10^{-4} M;
[b] λ ex (қоздыру толқынының ұзындығы) **5** үшін 360 нм және **7** үшін 320 нм



2 - сурет.5, 7 және 1 қосылыстарының UV-Vis спектрлері



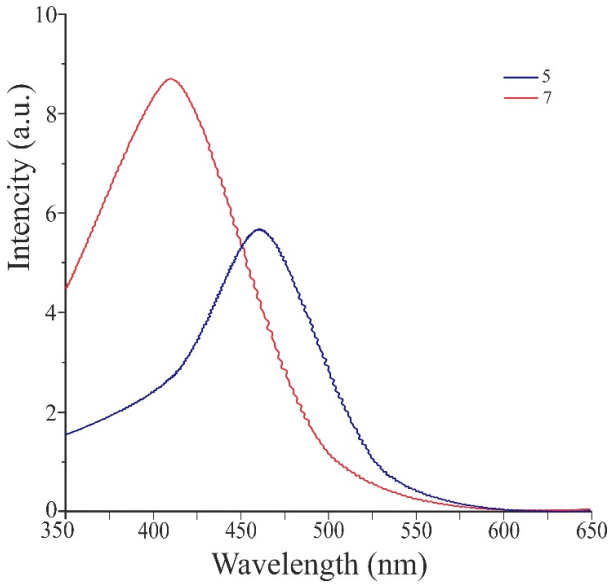
3 - сурет.5 және 7 қосылыстарының UV-Vis сіңіру спектрлері: (a) пленкада; (b) дихлорметанда

4 суретте **5** және **7** қосылыстарының флуоресценция спектрлерін көрсетеді, ал олардың басты сипаттамалары 1-кестеде берілген. **5** қосылысының спектрі максимумы 460 нм (λex = 360 нм) болатын жаңа көрінетін эмиссия жолағын көрсетсе, молекула **7** максимумы 410 нм (λex = 320 нм) болатын күшті эмиссия жолағын көрсетеді.

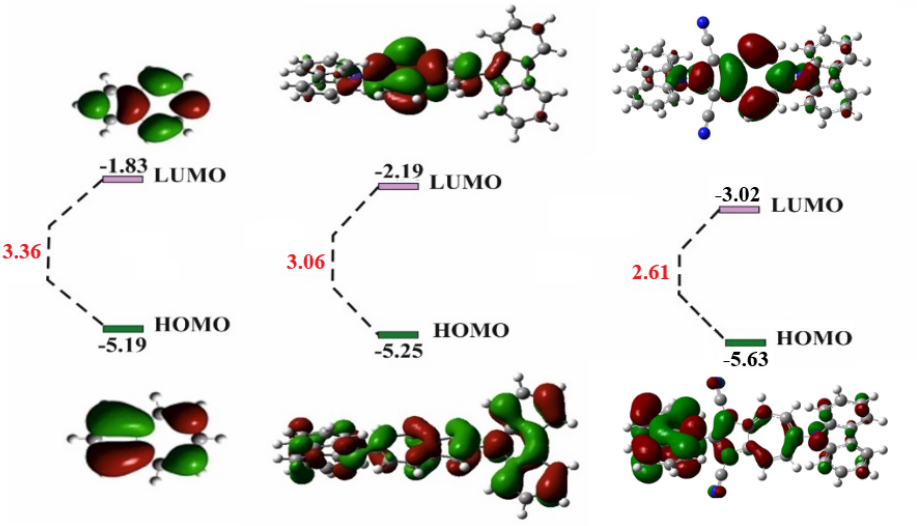
4 суретте көрсеткендей **7**-нің көрінетін эмиссия шыңы гипсохромды 50 нанометрге жылжығанын және **5** эмиссиясымен салыстырғанда жоғары интенсивтілік көрсетіп тұр. Атап айтсақ,

донор-акцепторлы **5** және **7** азулендер күлгін және көк фотолюминесценция аймағында белсенді сәулеленуге қабілетті, өйткені бастапқы қосылыс **1** ондай қабілеттерге ие емес [9,10].

Осылайша, азуленнің 2,6 және 1,3 орындарына донорлы және акцепторлы орынбасушыларды еңгізу ерекше күшті электрондық жұтылуы (ε = 34 145 М- 1см-1және ε = 54 117 М-1см-1) мен көрінетін аймақтағы флуоресцентті эмиссияларға (566 a.u мен 871 a.u) әкеледі.



4 - сурет.5 және 7 қосылыстарының флуоресценция спектрлері



5 - сурет. Азуленмен 1 салыстырғанда 5 және 7 фронтальды МО таралуы

5 және **7** қосылыстарының электрондық құрылысын талдау және құрылысы мен оптикалық қассиеттерінің арасындағы байланысты орнату үшін DFT (B3LYP/6-31G*) есептеулері жүргізілді (сурет 5).

Есептік талдау жоғары толтырылған молекулалық орбитальдің (HOMO) азулен қаңқасы, карбазолил және карбонитрил орынбасушы-

лары бойынша таралуын көрсетеді (сурет 5). HOMO орбитальдарының таралуы карбазол **4** жоғары толтырылған МО және бастапқы азулен **1** HOMO-1 арасындағы өзара әрекеттесуінің арқасында жүзеге асады [13]. Себебі, бастапқы азуленнің HOMO-сындағы 2 және 6 көміртек атомдары түйіндік жазықтықта, ал HOMO-1 де осы атомдар түйіндік жазықтықта орналаспаған және үлкен атомдық-орбитальдық коэффициенттерге ие [10].

Сонымен қатар, **5** және **7** қосылыстарының HOMO (-5,25 эВ және -5,63 эВ) мен LUMO (-1,98 эВ және -3,02 эВ) деңгейлеріндегі энергиялары бастапқы **1** молекулаға қарағанда төмен. Нәтижесінде, осы қосылыстардың шекаралық орбитальдар арасындағы энергетикалық алшақтықтың 0,24 және 0,75 эВ-ға төмендеуі 5-суретте көрсетілген.

Шекаралық МО деңгейлерінің осындай өзгерістері $\pi \rightarrow \pi^*$ электрондық ауысуына әкеледі [9,10]. Осы жағдай спектрдің көрінетін бөлігінде күшті жұтылу мен сәулеленудің пайда болуымен байланысты, ол **5** және **7** спектрлік сипаттамаларымен расталады (сурет 2 және 4, кесте 1).

Қорытынды. Синтез және жаңа қосарланған **5** пен **7** азулендерді зерттеу олардың ерекше оптикалық сипаттамаларын көрсетті. Карбазолил орынбасушыны 2 жән)е 6 орындарына, сондай-ақ азулен қаңқасына карбонитрил топтарын 1 және 3 орындарына қосу көрінетін спектрлік диапазонында (380-600 нм) сіңіру және шығару қасиеттерін айқындады. DFT әдісімен шығарылған есептеулер эксперименттік деректерді растайды. Азуленнің электрондық құрылымындағы өзгерістер бұрын тыйым салынған $\pi \rightarrow \pi^*$ электронды ауысуға әкеледі. Синтезделген қосарланған **5** және **7** азулендер органикалық оптоэлектроникада қолдануға үлкен қабілетке ие.

Қаржыландыру: *Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру (BR21882309) аясында жүзеге асырылды.*

References

1. Freudenberg J., Jänsch D., Hinkel F. Immobilization Strategies for Organic Semiconducting Conjugated Polymers // Chem. Rev.-2018.- V.118(11):5598. DOI10.1021/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 $TiBr_4$, or $SnCl_4$ versus Carbon-Carbon Bond Formation with $SbCl_5$// Chem. Eur. J -2022.-V. 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. - V.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.- V.51.-P.11822-11825. DOI 10.1039/C5CC03573B.

5. Mayer D.C., Manzi A., Medishetty R., Winkler B., Schneider C., Kieslich G., Pothig A., Feldmann J., Fischer R.A. Controlling Multiphoton Absorption Efficiency by Chromophore Packing in Metal-Organic Frameworks// J. Am. Chem. Soc. - 2019.- V.141(29). - P. 11594-11602. DOI 10.1021/jacs.9b04213.

6. Xin H., Hou B., Gao X. Azulene-Based π-Functional Materials: Design, Synthesis, and Applications//Acc. Chem. Res.- 2021.-V.54(7)- P.1737-1753. DOI 10.1021/acs.accounts.0c00893.

7. Shoji T., Ito S., Yasunami M. Synthesis of Azulene Derivatives from 2H-Cyclohepta[b]furan-2-ones as Starting Materials: Their Reactivity and Properties. Int. // J. Mol. Sci.- 2021.- V.22(19): 10686. DOI: 10.3390/ijms221910686.

8. Anderson A.G., Steckler B.M. Azulene. VIII. A Study of the Visible Absorption Spectra and Dipole Moments of Some 1- and 1,3-Substituted Azulenes // J. Am. Chem. Soc. – 1959.-V.81.-P.4941−4946. DOI 10.1021/ja01527a046

9. 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.-V.145(39).- P.21569–21575. DOI 10.1021/jacs.3c07625.

10. 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.-V.107(18): 3295. DOI 10.1021/jp021605f.

11. 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(18). - V.2003.- P.3663-3665. DOI 10.1002/ejoc.200300001.

12. Narita M., Murafuji T., Yamashita S., Fujinaga M., Hiyama K., Oka Y., Tani F., Kamijo S., Ishiguro K. Synthesis of 2-Iodoazulenes by the Iododeboronation of Azulen-2-ylboronic Acid Pinacol Esters with Copper(I) lodide// J. Org. Chem.- 2018. - V.83(3).- P.1298-1303. DOI 10.1021/acs.joc.7b02820.

13. Tsuchiya T., Hamano T., Inoue M., Nakamura T., Wakamiya A., Mazaki Y. Intense absorption of azulene realized by molecular orbital inversion // Chem. Commun.- 2023. - V.59. P.10604–10607. DOI 10.1039/D3CC02311G.

14. Wang Z.S., Koumura N., Cui Y., Takahashi M., Sekiguchi H., Mori A., Kubo T., Furube A., Hara K. Hexylthiophene-Functionalized Carbazole Dyes for Efficient Molecular Photovoltaics: Tuning of Solar-Cell Performance by Structural Modification // Chem. Mater. - 2008. V.20(12). P.3993-4003. DOI: 10.1021/cm8003276.

15. Shirota Y., Kageyama H. Charge Carrier Transporting Molecular Materials and Their Applications in Devices // Chem. Rev.- 2007.- V.107(4).- P.953-1010. DOI 10.1021/cr050143

Авторлар туралы мәліметтер

Мерхатұлы Н. - химия ғылымдарының докторы, академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің профессоры, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: merhatuly@ya.ru;

Искандеров А. Н. - академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің аға оқытушысы, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: aby93@yandex.kz;

Жокижанова С.К. - С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің қауымдастырылған профессоры, химия ғылымдарының кандидаты, Астана, Қазақстан, e-mail: saltanat_zh75@mail.ru;

Искандеров А. Н. - академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды 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;

Войтишек П. - химия ғылымдарының докторы, профессор Карлов университеті, Прага, Чех Республикасы, e-mail: pavel.vojtisek@natur.cuni.cz.

Information about the authors

Merkhatuly N. - doctor of chemical sciences, professor at Karaganda university named after academician E.A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan e-mail:merhatuly@ya.ru;

Iskanderov A. N. - senior lecturer, Karaganda university named after academician E. A. Buketov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: aby93@yandex.kz;

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 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;

Vojtishek P. - doctor of chemical sciences, professor at Charles University, Prague, Czech Republic, e-mail: pavel.vojtisek@natur.cuni.cz.

МРНТИ 61.01.11 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-686**

БЕРІКТІЛІГІ ЖОҒАРЫ ЖӘНЕ БИОЫДЫРАЙТЫН КОМПОЗИТТЕР: ҚАПТАМАДА ЖӘНЕ ІРГЕЛЕС САЛАЛАРДА ҚОЛДАНУ БОЛАШАҒЫ (Аналитикалық шолу)

А. Колпек, Э.Е. Копишев✉, Г.Ж. Сейтенов✉, А.К. Турсынова, Л.Б. Толымбекова

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
✉*Корреспондент-автор: kopishev_eye@enu.kz, seitenova_gzh@enu.kz*

Қазіргі таңда полимерлі композициялық материалдарды қолдану аясы кең аумақты қамтиды. Полимерлердің қасиеттерін мақсатты түрде таңдау және модификациялау арқасында балама полимерлі композиттік жүйелерді әзірлеу арқылы материалдардың өнімділік сипаттамаларын айтарлықтай жақсартуға болады. Композиттік материалдардың тарихы адамдар мықты, берік, жеңіл бұйымдар жасау үшін табиғи талшықтар мен саздарды пайдаланған ежелгі дәуірден басталады және авиация, автомобиль және көптеген өнімдер үшін жоғары өнімді композиттерді жасауға мүмкіндік беретін заманауи технологиялардың пайда болуымен байланысты болды. Полимерлі материалдардың дамуы бірнеше ондаған жылдарды қамтиды және көптеген маңызды жаңалықтар мен зерттеулерді қамтиды. Полимерлермен жүргізілген алғашқы тәжірибелерден қазіргі заманғы жоғары технологиялық шешімдерге дейін полимерлі материалдарды қолдану айтарлықтай кеңейді. Осы жылдар ішінде полимерлік материалдардың дамуының негізгі кезеңдерін және осы салаға елеулі үлес қосқан ғалымдарды қарастырайық.Мұндай материалдардың даму тарихы елеулі ғылыми жаңалықтармен және көптеген зерттеулермен бірге бірнеше ондаған жылдарға созылады.

Бұл мақалада полимерлі композициялық материалдардың даму процесі, олардың жіктелуі, қасиеттерін анықтайтын негізгі факторлар, заманауи инновациялық жүйелер, сонымен қатар олардың одан әрі даму болашағы туралы ағымдағы деректер берілген.

Түйін сөздер: полимер, композитті материал, қондырғылар, наноталшықтар, биологиялық орта, механикалық өңдеу, биоыдырау.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ И БИОРАЗЛАГАЕМЫХ КОМПОЗИТОВ: ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В УПАКОВКЕ И СМЕЖНЫХ ОТРАСЛЯХ (Аналитический обзор)

А. Колпек, Э.Е. Копишев✉, Г.Ж. Сейтенова✉, А.К. Турсынова, Л.Б. Толымбекова

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
e-mail: kopishev_eye@enu.kz, seitenova_gzh@enu.kz

В настоящее время область применения полимерных композиционных материалов охватывает широкий спектр направлений. Благодаря целенаправленному выбору и модификации свойств полимеров, возможно существенно улучшить эксплуатационные характеристики материалов, разработав альтернативные полимерные композиционные системы. История композиционных материалов начинается с древних времен, когда люди использовали природные волокна и глину для создания прочных и легких изделий, и продолжает развиваться с появлением современных технологий, позволяющих создавать высокоэффективные композиты для авиации, автомобилестроения и многих других отраслей. Развитие полимерных материалов охватывает несколько десятилетий и включает в себя множество значимых открытий и исследований. С момента первых экспериментов с полимерами до современных высокотехнологичных решений, использование полимерных материалов значительно расширилось. Рассмотрим ключевые этапы развития полимерных материалов по годам, а также ученых, которые внесли значительный вклад в эту область. Разработки таких материалов насчитывает несколько десятилетий, сопровождаясь значительными научными открытиями и многочисленными исследованиями.

В данной статье представлены актуальные данные о процессе разработки полимерных композиционных материалов, их классификации, ключевых факторах, определяющих их свойства, современных инновационных системах, а также перспективах их дальнейшего развития.

Ключевые слова: полимер, композиционный материал, присадки, нановолокна, биологическая среда, механическая обработка, биоразложение

DEVELOPMENT OF HIGH-STRENGTH AND BIODEGRADABLE COMPOSITES: PROSPECTS FOR APPLICATION IN PACKAGING AND RELATED INDUSTRIES (analytical review)

A. Kolpek, E.Ye.Kopishev✉, G.Zh.Seitenova✉, A.K.Tursynova, L.B.Tolymbekova

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: kopishev_eye@enu.kz, seitenova_gzh@enu.kz

The field of application of polymer composite materials is currently extensive, encompassing a multitude of areas. The targeted selection and modification of polymer properties allows for the significant improvement of materials' performance characteristics through the development of alternative polymer composite systems. The history of composite materials dates back to ancient times, when people used natural fibers and clays to create strong, lightweight products, and continues to evolve with the advent of modern technologies that allow the creation of high-performance composites for aviation, automotive and many other industries. The development of polymer materials spans several decades and includes many significant discoveries and research. From the first experiments with polymers to modern high-tech solutions, the use of polymer materials has expanded significantly. Let' s look at the key stages in the development of polymer materials over the years, as well as the scientists who made significant contributions to this area. The development of such materials goes back several decades, accompanied by significant scientific discoveries and numerous studies.

This article presents relevant data on the development process of polymer composite materials, their classification, key factors determining their properties, modern innovative systems, and prospects for their further development.

Keywords: polymer, composite material, additives, nanofibers, biological environment, mechanical processing, biodegradation

Кіріспе. Бүгінгі таңда полимерлі материалдар өнеркәсіптің басым көпшілігінде және халық шаруашылығында кеңінен қолданылады. Полимерлердің пайдалану қасиеттерін олардың негізінде полимерлі композициялық материалдарды жасау арқылы айтарлықтай жақсартуға болады. Осы саладағы перспективті бағыттардың бірі әртүрлі салаларда қолдану үшін жоғары беріктігі мен биоыдырағыштығы бар полимерлі композиттерді жасау болып табылады [1-3].

1907 жылы Лео Баекеланд электр жабдықтары, автомобиль бөлшектері мен ас үй ыдыстары сияқты көптеген өнімдерге негіз болатын алғашқы синтетикалық полимер (термосеттік пластик) ойлап тапты [1,4-7].

1920 жылы ғалымдар полимерлі винилхлоридті алып, оны пластмасса өндірісінде қолданды [1-3,6].

1930-1950 жылдары полимерлер көп мөлшерде шығарыла бастады және халық тұтынатын тауарлар мен құрылыс материалдарын өндіруде кеңінен қолданыла бастады.

1951 жылы Жан Фризен және Райнер Саймон полипропиленді ойлап тапты. Бұл өндірісі арзан және орауыш пен тоқыма бұйымдарын қоса алғанда, көптеген салада қолдануға болатын алғашқы термопластика болды [1,5-9].

1953 жылы политетрафторэтилен (ПТФЭ) табалар және басқа заттардың жабыны ретінде қолданылатын ыстыққа төзімді жабыспайтын жабындар жасау үшін негізгі материал болды [1-4].

1960 жылдары полимер негізіндегі композит-

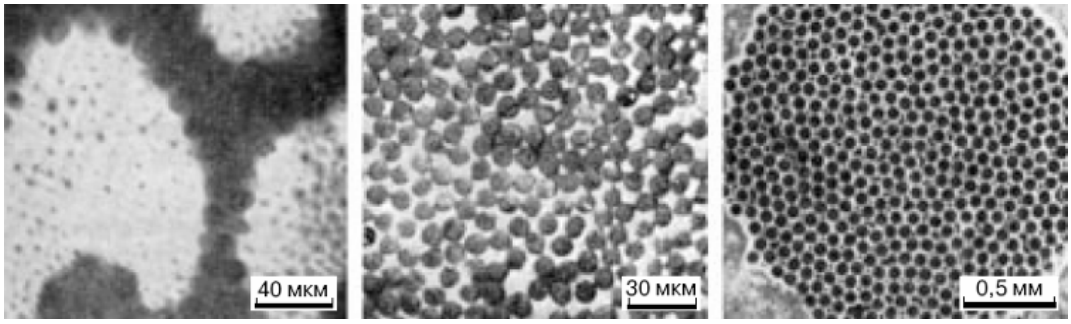
тердің белсенді дамуы байқалды.

1970-2000 жылдар аралығында экологиялық таза полимер бұйымдарын шығару бағыты дами бастады. Биотехнологияның дамуы жүгері сияқты өсімдіктер негізінде полилактид (PLA) сияқты алғашқы биополимерлердің пайда болуына әкелді [1,5,8,9].

1999 жылдан бастап олар полимерлерді өңдеу стандарттарын сақтай бастады. Осы уақытта пластмассаларды қайта өңдеу және биопластика сияқты экологиялық таза материалдарға көшудің жаһандық үрдісі басталады [3,4,6,10].

2000 жылы полимерлік материалдарда нанотехнологиялар дамыды, бұл жақсартылған физикалық қасиеттері бар композиттер жасауға мүмкіндік берді. Нанобөлшектердің қосындысы бар полимерлер берік, жеңіл және ыстыққа төзімді материалдарды жасау үшін қолданылады. Мысалы, полимерлік нанокомпозиттер, соның ішінде наноцеллюлоза, көміртекті нанотүтіктер және графен авиация, автомобиль және энергетика өнеркәсібі үшін маңызды болып саналады [2,3,8-12].

2020 жылдан бастап жаңартылатын көздер негізіндегі экологиялық таза полимерлер мен композиттер дами бастады (1-сурет) [6-10].



1 - сурет. Әртүрлі композициялық материалдардың микроқұрылымы

Ғалымдар табиғатта қайта өңдеуге немесе биологиялық ыдырауға болатын полимерлерді, сондай-ақ табиғи толтырғыштарды (мысалы, зығыр немесе қарасора талшықтары) қосу арқылы биокомпозиттердің жаңа түрлерін жасауды зерттеуде [9-13].

Полимерлі материалдардың дамуы көптеген ғалымдардың ұзақ және дәйекті күш-жігерінің нәтижесі болып табылады. Соңғы 200 жыл ішінде бірегей қасиеттері бар материалдарды жасауға, сондай-ақ адамзат алдында тұрған экологиялық мәселелерді шешуге мүмкіндік беретін маңызды ашылулар жасалды. Қазіргі тенденциялар тұрақты даму үшін жаңа мүмкіндіктер ашатын экологиялық таза, қайта өңделетін және биологиялық ыдырайтын полимерлер жасауға бағытталған [1,5,14-18].

Полимерлердің классификациясы олардың әртүрлілігі мен қолданылуын жақсы түсінуге көмектеседі. Материалдық талаптарға байланысты полимер түрін дұрыс таңдау соңғы өнімнің өнімділігіне айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Бұл классификацияларды түсіну инженерлер, конструкторлар және материалтанушылар үшін маңызды [17,19,20].

Олар бірегей қасиеттеріне байланысты әртүрлі салаларда кеңінен қолданылатын материалдардың әртүрлі тобын білдіреді. Полимерлердің әртүрлі түрлерін және олардың сипаттамаларын түсіну оларды өндірісте және машина жасауда тиімді пайдалануға мүмкіндік береді [1,21,22].

Полимерлердің және полимерлі материалдардың қасиеттеріне әсер ететін қоспалардың классификациясы.

Полимер өнеркәсібінде қолданылатын қоспалар полимерлер мен полимерлі материалдардың қасиеттерін жақсартуда шешуші рөл атқарады [15,16,21].

Қоспалар төмендегідей жіктеледі:

- Пластификаторлар. Олар полимерлердің икемділігін арттыру және қаттылығын төмендету үшін қолданылады. Дибутилфталат (DBF), диоктилфталат (DOF). Пластификаторлар икемділікті арттырады, шыныға өту температурасын төмендетеді және механикалық зақымға төзімділігін арттырады [7,8,13,22].

- Тұрақтандырғыштар – полимерлерді ыдыраудан, тотығудан және ультракүлгін сәулеленуден қорғайды. Олар полимерлі материалдардың қызмет ету мерзімін арттырады және жұмыс кезінде қасиеттерінің нашарлауына жол бермейді [22,23].

- Толтырғыштар механикалық қасиеттерді жақсарту, өзіндік құнын төмендету және өндіру мүмкіндігін жақсарту үшін қосылады, сонымен қатар олар беріктікті, қаттылықты, жылу өткізгіштікті арттырады және шөгуді азайтады. Оларға кальцит, тальк, шыны талшықтары жатады [18,24].

- Отқа төзімді қоспалар – полимерлердің тұтанғыштығын төмендететін және өрттің таралуын болдырмауға көмектесетін қоспалар. Отқа төзімді қоспалар полимер бұйымдарының отқа төзімділігін арттырады, оларды қауіпсіз етеді. Олар: алюминий гидраты, фосфор қосылыстары [19,25].

- Антистатикалық қоспалар – полимерлердің бетінде статикалық электр тогының жиналуын, шаңның жабысуын азайтады және электроника мен қаптамада өнімділікті жақсартады. Оларға триалкилфосфаттар, полиэтиленгликоль туындылары жатады.

- Бояғыш және пигменттік қоспалар. Олар полимерлердің түсін өзгерту үшін қолданылады. Қоспалар эстетикалық қасиеттерді жақсартады және әртүрлі реңктер мен көрнекі әсерлерді жасауға мүмкіндік береді. Органикалық және бейорганикалық пигменттер, бояғыштар қоладылады [6,14,25,26].

- Күшейтетін қоспалар. Шыны талшық, көміртекті талшықтар. Олар полимерлердің беріктігін арттырады және механикалық беріктігін, қаттылығын және деформацияға төзімділігін арттырады [26,27].

- Тұтқырлық модификаторлары. Бұл қоспалар полимерлі қоспалардың тұтқырлығын өзгертеді, олардың өңделуін және балқыманың өтімділігін жақсартады, өңдеу процесінің тұрақтылығын арттырады. Олар полимерлі балауыздар, силикондар [28].

Полимерлерлі композициялық материалдардың қасиеттерін механикалық өңдеудің жіктелуі.

Полимерлердің беріктігін жақсарту әдістері әртүрлі тәсілдерді қамтиды, олардың арасында толтырғыштарды қосу ең тиімді және кеңінен қолданылатын әдістердің бірі болып табылады. Табиғи талшықтар сияқты толтырғыштар (мысалы, зығыр, джут) полимерліматериалдардыңмеханикалыққасиеттерінедәуіржақсартаалады [19,25-29].

Зығырнемесе джут сияқты табиғи талшықта рполимерлі материалдардың созылу беріктігін айтарлықтай жақсартады. Талшықтар полимер молекулалары арасындағы адгезияны арттыратын, оның жүктемелерге төтеп беру қабілетін жақсартаты нарматуралық элементтер ретінде әрекет етеді [27,29].

Зығыр талшықтары: зығыр талшықтары беріктілікті арттыруға ие, соның ішінде созылу және сығылу беріктілігі. Олардың тығыздығы төмен және қаттылығы жоғары, бұл полимерлі материалдардың механикалық қасиеттерін жақсартады, әсіресе термопластикамен немесе термореактивті полимерлермен үйлеске түскен кезде байқалады [30].

Джут талшықтары: Джут беріктілікті арттыратын материал болып табылады, сондай-ақ ол биологиялық ыдырауы жоғары және құнының арзандығымен ерекшеленеді. Джут созылу беріктігін жақсартады және полимерлердің қаттылығын арттырады, сонымен қатар сыртқы ортаға (мысалы, судың әсеріне) қарсылықты арттырады [19,21,23,29].

Табиғи талшықтар композициялық материалдардың соққыға төзімділігін жақсарта алады. Механикалық жүктемелерд ібүкіл материалға біркелкі бөлу қабілетінің арқасында олар полимерлі композициялард жарықтар мен ақаулар-

дың пайда болу ықтималдығын азайтады және олардың беріктігін арттырады [7,31].

Табиғи талшықтар полимерлі композиттердің термиялық кеңеюін төмендетуі мүмкін, бұл температураны ңөзгеруі кезінде өлшемдік тұрақтылықты қажет ететін жерлерде қолдану үшін маңызды. Талшықтардың термиялық кеңею коэффициенті төмен болады. Бұл термиялық тұрақтылығы жақсартылға нматериалдарды жасауға мүмкіндік береді [32,33].

Зығыр және джут талшықтарын полимер матрицасына қосу кернеудің жақсы таралуына ықпал етеді, бұл материалды соққылар мен басқа механикалық жүктемелер кезінде деформацияға төзімді етеді [28,33].

Зығыр және джут сияқты табиғи талшықтар таза полимерлермен салыстырғанда ылғалға, химиялық заттарға және басқа да агрессивті факторларға төзімділігіжоғары. Бұл әсіресе қиын немесе ылғалды жағдайда жұмыс істеуі керек өнімдерді өндіруде пайдалы болуы мүмкін [34,35].

Беріктікті жақсартудың механизмдері.

Арматуралық әсері.

Полимерлі композициялық материалдарға табиғи талшықтарды қосқанда беріктікті жақсартудың негізгі механизмі арматуралық әсер болып табылады. Талшықтар полимердің ішінде торлы құрылымды жасайды, бұл оның механикалық беріктігін едәуір арттырады.Зығыр және джут талшықтары сияқты толтырғыштар полимер молекулалары арасында қосымша адгезияны қамтамасыз етеді, созылу, қысу және басқа механикалық жүктемелерге төзімділікті жақсартады. Талшықты арматураланған бетонның сипаттамасы 1 кестеде келтірілген [26,34].

1 - кесте. Талшықты өрілген бетонның сипаттамасы

№	Сипаттамалары	Қарапайым бетон	Табиғи талшықпен өрілген бетон
1	Қысу күші (МПа)	20-50	30-80
2	Созу күші (МПа)	2-4	5-8
3	Аязға төзімділігі	Ғ50-Ғ100	Ғ150-Ғ300
4	Тығыздығы (кг/м^3)	2200-2500	2300-2600
5	Жарқышақ пайда болуға төзімділік	Орташа	Жоғары

Молекуларалық байланысты күшейту.

Құрамында талшық бар табиғи талшықтар полимер мен талшықтар арасындағы адгезияны жақсарта алады. Табиғи талшықтардың бетінде полимер молекулаларымен сутегі байланысын құра алатын, адгезияны жақсартатын және талшықтардың қабыршақтануын болдырмайтын функционалды топтар бар [35,36].

Микрожарқышақтарды басу

Табиғи талшықты полимер механикалық жүктемелерге ұшыраған кезде, талшықтар кернеулерді таратуға көмектеседі, бұл микрожарқышақтардың пайда болу мүмкіндігін азайтады. Бұл материалдардың беріктігін арттырады және олардың сынғыштығын төмендетед [22,37,38].

Белгілі полимерлі композициялық материалдар.

Бүгінгі таңда әртүрлі салаларда белсенді қолданылатын көптеген полимерлікомпозициялық материалдар бар. Бұл компоненттерге композиттің сипаттамаларын анықтайтын матрицалар да, толтырғыштар да кіреді (беріктік, жеңілдік, биологиялық ыдырау және т.б.) [26,27,39].

Көміртекті композиттер (көміртекті пластиктер), көміртектен және полимер матрицасынан тұратын күшейтілген талшықтары бар полимерлі композиттер(көбінесе эпоксидті немесе винилэфирлі шайырлар).Олар төмен салмақта

жоғары беріктікке ие, коррозияға төзімділігі жоғары, ыстыққа төзімді болады [38,40].

Шыныдан және полимер матрицасынан тұратын күшейтілген талшықтардан тұратын шыны-пластиктер. Арзан көміртекті композиттер, жақсы механикалық қасиеттерге ие және ылғалға төзімді [41,42].

Кевлар полимерлі композиттері – арамидті талшықтан (кевлар) және полимер матрицасынан тұратын күшейтетін талшықтар. Олардың беріктілігі, механикалық зақымдануға және тозуға қарсылығы өте жоғары, тұрақты композитке жатады.

Борполимерлі және боркөміртекті композиттер. Бор немесе көміртектен, әртүрлі полимерлер матрицасы мен металдардан тұратын берік талшықтар [35,43].

Металл полимерлі композиттері – олар жоғары беріктікке, қаттылыққа және ыстыққа төзімді, сондай-ақ жоғары температура жағдайында жақсы өнімділікке ие металл марицасынан (алюминий, мыс, титан және т. б.) және арматуралық бөлшектерден (мысалы, көміртегі, керамика, бор) тұрады [1,7,6,43].

Керамикалық композиттер – бұл керамикалық матрицадан және арматуралық талшықтардан немесе бөлшектерден тұратын материалдар, олар көміртектен, бор материалдарынан, көміртекті нанотүтікшелерден немесе басқа да жоғары беріктігі мен ыстыққа төзімді материалдардан жасалуы мүмкін. Олар жоғары температура, қатты химиялық орта және механикалық жүктемелер сияқты экстремалды жағдайларға төзімділігімен ерекшеленеді [12,13,44].

Цемент және бетон композиттері (немесе өрілген талшықтар қосылған қарапайым бетон) – бұл шыны, көміртегі, полимер немесе металл талшықтары сияқты әртүрлі өрілгіш материалдарды пайдаланып дәстүрлі цемент немесе бетон қоспалары нығайтылатын материалдар.Бұндай композиттер бетонның механикалық және физико-химиялық қасиеттерін жақсартуға арналған және оларды аса қажет және мамандандырылған қолданбаларда пайдалануға мүмкіндік береді [18,19,45].

Цемент және бетон полимерлі композиттері механикалық қасиеттері, беріктігі және қоршаған ортаға төзімділігі жоғары материалдарды қажет ететін құрылыс және басқа қолданбалар үшін тамаша таңдау болып табылады [18,27,45].

Биокомпозиттер – құрамдас бөліктерінің бірі ағаш талшықтары, бамбук, зығыр, мақта немесе кокос талшықтары сияқты табиғи (биологиялық) материалдардан тұратын және биополимерлермен (мысалы, PLA – полилактид) немесе синтетикалық полимерлермен бірге қолданылатын композициялық материалдар, олар ішінара биологиялық ыдырайтын болуы да мүмкін.Биокомпозиттерді құрудың мақсаты – құрылыстан автомобильге дейін әртүрлі салаларда қолдануға болатын экологиялық таза, тұрақты және қайта өңделетін материалдарды алу [45,46].

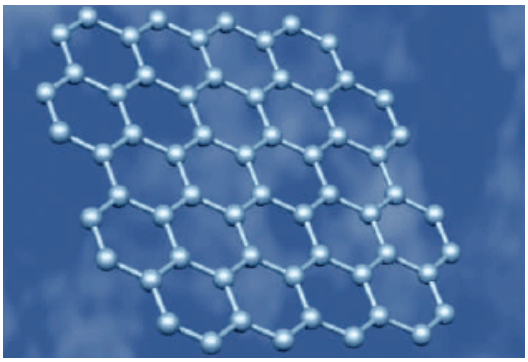
Қазіргі заманғы композициялық материалдар олардың сипаттамалары мен қолдану мүмкіндіктерін анықтайтын әртүрлі компоненттерді белсенді пайдаланады. Технология дамуды жалғастыруда, осыған орай қазіргі кезде биополимерлер мен зығыр, кендір талшықтары немесе ағаш ұны сияқты табиғи толтырғыштарды пайдаланатын экологиялық таза және биологиялық ыдырайтын композиттерді жасауға баса назар аударылуда.Наноматериалдарды пайдалану (мысалы, көміртекті нанотүтіктер, наноцеллюлоза) жақсартылған функционалдық қасиеттері бар жоғары берік және жеңіл композиттерді жасау үшін жаңа мүмкіндіктер туындауына жол ашады [6,19,24,46].

Жаңа полимерлі композитті материалдар.

Қазіргі заманғы полимерлі композициялық материалдар өте жылдам дамып келеді, сонымен қатар қазіргі уақытта бірегей қасиеттері бар және әртүрлі салаларда қолданылатын бірқатар жаңа және инновациялық композиттер бар.Бұл жаңа полимерлі композициялық материалдар көбінесе экологиялық тазалық, энергия тиімділігі, ультра жеңіл және ультра беріктік талаптарын қанағаттандыру және төтенше жағдайларға төтеп беру үшін [17,25,29,47].

Графен композиттері – оларға күшейткіш ма-

териал ретіндегі графен (немесе оның туындылары) және полимерлерден, металдардан немесе керамикадан жасалуы мүмкін матрица жатады.Графен – көміртегі атомдары дұрыс алтыбұрыштардың төбелерінде орналасқан екі өлшемді атомдық қабат (2-сурет). Графенді цилиндрге айналдырғанда, бір қабырғалы нанотүтікше алынады және бір-біріне параллель орналасқан мұндай қабаттардың көп болуы графит болып табылады.Графен жоғары механикалық қаттылығымен, жоғары жылу өткізгіштігімен және электр өткізгіштігімен сипатталады. Бұлқасиеті оны наноэлектроникадан бастап лайнер фюзеляждарын қаптауға дейін әртүрлі қолданбаларда пайдалану үшін таптырмас материал ретінде көрсетеді.Бірақ графит қабаттарын графиттен бөлу процедурасы өте күрделі, сондықтан олардың бірегей қасиеттерін іс жүзінде пайдаланудың бір жолы – олардың негізінде композиттер жасауға тырысу [11,12,21,45,48].



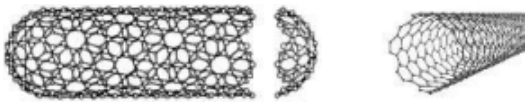
2 - сурет. Графитті қабат (графен)

АҚШ Солтүстік-Батыс университеті мен Пурдю университетінің бірлескен жұмысында [48,49] полимер/графен композиттерін синтездеуге жолдарын ұсынды.

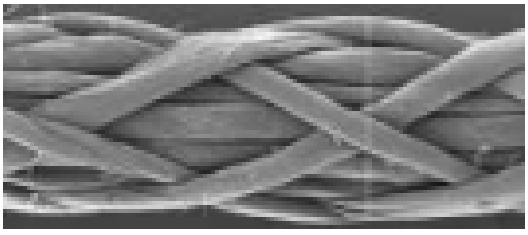
Ол графиттің химиялық тотығуына, оны ультрадыбыстық өңдеуге (оның барысында ол жеке тотыққан графен қабаттарына бөлінеді), еріткіште полимермен бірге ерітуге және оттегі топтарын жою үшін кейіннен қалпына келтіруге негізделген.Нәтижесінде қатты композит пайда болады, оның сипаттамалары көміртекті нанотүтікшелер негізіндегі композиттердікімен дерлік бірдей және құны әлдеқайда төмен (графиттің бағасы килограммына бірнеше доллар).Әрине, кремний чиптерін графенге ауыстыру туралы айту әлі ерте, бірақ графен композиттерін күн батареяларында, компьютерлік компоненттерде (артық жылуды тарату үшін) пайдалану мәселесі қазірдің өзінде талқылануда [50,51] – бір сөзбен айтқанда, қай жерде болса да көміртекті талшықтардың өткізгіштігі жеткілікті жоғары емес, ал көміртекті нанотүтіктер тым қымбат.

Көміртекті нанотүтіктерге негізделген композиттер. Көміртекті нанотүтіктердің ашылу тарихы фуллерендерді ашу және егжей-тегжейлі зерттеу тарихымен тығыз байланысты [52,53]. Газ шығару камерасының қабырғаларында тұндырылған графиттің шашырауы нәтижесінде пайда болған күйенің құрамында 20 % дейін фуллерендер бар, олардың негізгі компоненттері әдетте C_{60} және C_{70} молекулалары болып табылады.

Басқа күйе элементтерінен айырмашылығы, фуллерендерді органикалық еріткіштерде (бензол, толуол және т.б.) ерітіуге болады және сұйық хроматография әдістерімен экстракциялауға, тазартуға және бір-бірінен бөлуге болады. Нағыз нанотүтікше – цилиндрге оралған графит жазықтығы бар, яғни төбесінде көміртек атомдары орналасқан дұрыс алтыбұрыштармен қапталған бет (3-сурет) [26,50-52].



3 - сурет. Бір қабатты нанотүтікшенің моделі



4 - сурет. Көміртекті наножіпшелердің суреті

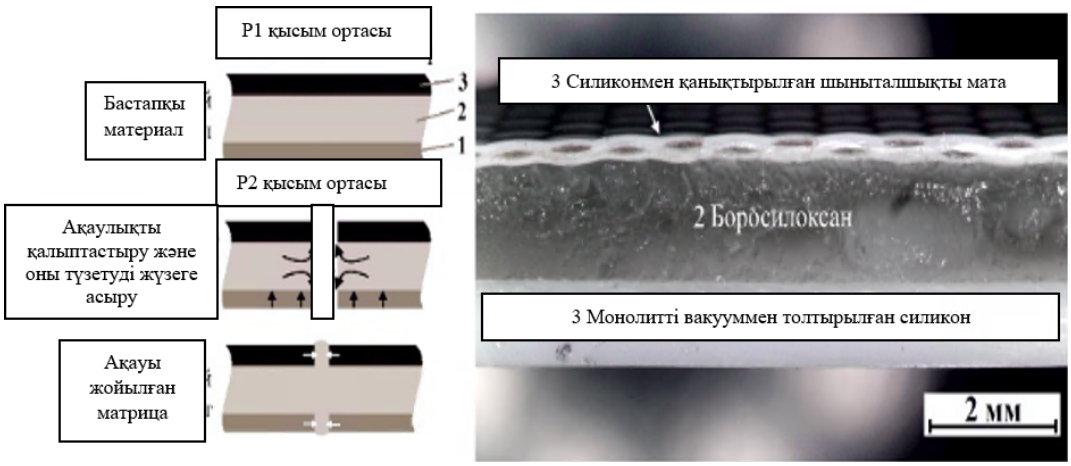
Мұндай операцияның нәтижесі, атап айтқанда, оның электрлік қасиеттерін анықтайтын нанотүтікшенің хиральдылығына байланысты.4-суретте электронды микроскоппен түсірілген кө-

міртекті наножіпшелердің фотосуреті көрсетілген [26,53,54].

Өз-өзінен қалпына келетін композитті материалдар негізіндегі композиттер. Өз-өзінен қалпына келетін қасиеттері бар жасанды материалдарды жасау көптеген зерттеушілер үшін пайдалы болатын перспективаларға байланысты белсенді дамып келе жатқан танымал қызмет саласы болып табылады. Материалдардың қызмет ету мерзімін арттыру, оларды жұмыс жағдайында ұстауға және жөндеуге кететін шығындарды азайту, құрылымдық қауіпсіздік деңгейін жоғарлату үшін таптырмас материал. Осы шартты қанағаттандыратын перспективалы материалдардың бірі борсилоксан (БС) негізіндегі материал болып табылады [8,17-20,55].

Қалыңдығы 0,5 мм, 1 мм және 1,5 мм болатын ішкі борсилоксанды матрицасы бар ламинатталған өзін-өзі қалпына келтіретін композициялық материалдың үлгілері толтырғыштары бар және толтырғышсыз дайындалды. Қалпына келтіру механизмінің схемалық көрінісі және қалыңдығы 1,5 мм ішкі борсилоксанды матрицасы бар үш қабаттан тұратын ламинатталған өзін-өзі қалпына келтіретін композиттік материалдың үлгісі 5-суретте берілген [56,57].

Р1 қысым ортасы



5 - сурет. Борсилоксанды (БС) ішкі қабаты бар өздігінен қалпына келетін үш қабатты композиттің жұмыс диаграммасы (сол жақта) және көлденең қимасы (оң жақта)

P_1 және P_2 (P_2>P_1) қысымының айырмашылығына байланысты қабатталған композитте өтпелі ақау пайда болғанда, қалпына келетін қабаттың материалы ақаулы аймақтың көлемін толтырады. Бұл жағдайда өз-өзін қалпына келтіретін қабатпен тартылған сыртқы қабаттар қысылады, осы кезде ақау мөлшері азаяды [9,15,56,58].

Энергияны көп қажет ететін қолданбаларға арналған функционалдық композиттер де болады. Мұндай композиттерді құру полимерлі құрамға көміртекті нанотүтікшелерін (КНТ) енгізу сатысында пайда болатын құбылыстармен қатар жүреді. КНТ қолдануда максималды тиімділікке жету үшін, әдетте, олардың полимер көлемінде біркелкі таралуы, сонымен қатар полимер матрицасының нанотүтіктердің бетіне жоғары адгезиясын тудыру қажет. Бұл саладағы перспективті бағыттардың бірі көміртекті нанотүтіктер (КНТ) негізіндегі полимерлік композиттерді жасау болып табылады [42,45,58,59].

Наноцеллюлозаны қолданатын композиттер. Ағашпен, атап айтқанда ауылшаруашылық қалдықтарымен салыстырғанда арзан өсімдік материалдарынан наноцеллюлоза өндірісінің технологиялық дамуы қазіргі нанобиофизиканың өзекті міндеті болып табылады. Модификацияланған целлюлоза бөлшектері бар композициялардағы материалдардың функционалдық сипаттамаларын кеңейту мүмкіндігінің ашылуы зерттеушілердің целлюлоза композиттеріне де-

ген қызығушылығын айтарлықтай арттырды. Целлюлоза бөлшектерінің бетін бояғыштар, металл оксидтері, кремний сияқты функционалды материалдармен өзгерту қазіргі заманғы өнеркәсіптің әртүрлі салаларында модификацияланған целлюлоза композиттерін қолдануға мүмкіндік береді. Функционалды целлюлоза бөлшектерінің пайдалану параметрлерін едәуір жақсарту үшін оларды полимерлерде толтырғыш ретінде пайдалану арқылы қол жеткізуге болады [57,58,59].

Графен аэрогель матрицасы бар композиттер. Талшықтармен сіңдірілген формальдегид сияқты органикалық прекурсорлармен жасалған аэрогельді композиттер. Алынған композиттің механикалық кернеуге жақсы төзімділігі бар.Дайын өнімнің кемшілігі - жоғары жылу жүктемелерінде ауамен салыстырғанда температураға төзімділігі төмен, сонымен қатар көптеген қолданбалар үшін икемділігі жеткіліксіз [8,28,36,60].

Биологиялық ыдырайтын полимерлі композиттік материалдардың (ПКМ) технологиясы.

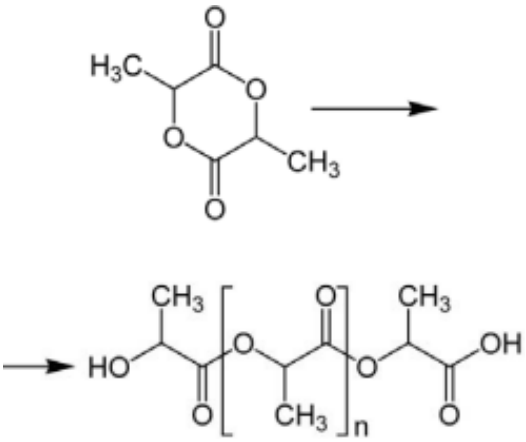
Композиттерді, әсіресе графенді қамтитын композиттерді биологиялық қайта өңдеу материалдарды тұрақты пайдалану және қоршаған ортаны қорғау контекстіндегі өзекті міндет болып табылады.

Әртүрл іөнеркәсіптік секторларда кеңінен қолданылатын композиттер биодеградацияның төмен деңгейіне ие. Дегенмен, белгілі бір биологиялық орталар мен организмдер ғана композиттік компоненттердің ыдырау немесе түрлену әлеуетін көрсетеді [61-63].

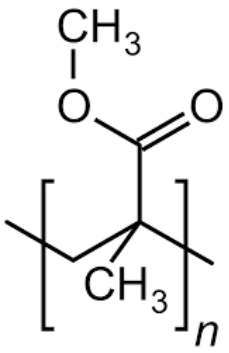
Биологиялық ыдырайтын (биодеградацияланатын) полимерлер – белгілі жағдайларда қоршаған ортаға бейтарап заттарға ыдырауға қабілетті биологиялық организмдердің қалдықтары (целлюлоза, ақуыз, крахмал, нуклеин қышқылы, табиғи шайыр және т. б.) бар жоғары молекулалық қосылыстар класы [64,65].

Жақсы беріктігі мен биологиялық ыдырауы бар композиттерді жасаудың негізгі стратегиясы – матрица және өрілгіш ретінде биополимерлерді пайдалану болып табылады.

Ең тиімді биологиялық ыдырайтын материалдардың бірі – сүт қышқылы негізіндегі алифатты полиэфирлер және сүт қышқылының поликонденсациясы немесе лактидтің полимерленуі нәтижесінде алынған полилактидтер (PLA) (6-сурет) [66-68].



6 - сурет. Лактидті полимерлеу арқылы полилактид (ПЛА) алу процесі



$$R \equiv (C_n H_{2n+2}), n = 3 - 15$$

7 - сурет. Гидроксикарбонаттың химиялық формуласы

Биологиялық ыдырайтын полимерлер технологиясының тағыбір бағыты-гидроксикарбон қышқылдары негізіндегі алифатты полиэфирлер класына жататын полигидроксиоксаноаттарды (PHA) өндіру. АҚШ-тың Metabolix (Biopol полимері) және Procter&Gamble (nodax полимері, 7-сурет) компаниялары осы бағытта белсенді жұмыс істейді, аз мөлшерде болса даPHA биополимерлерін әзірлейді және шығарады.

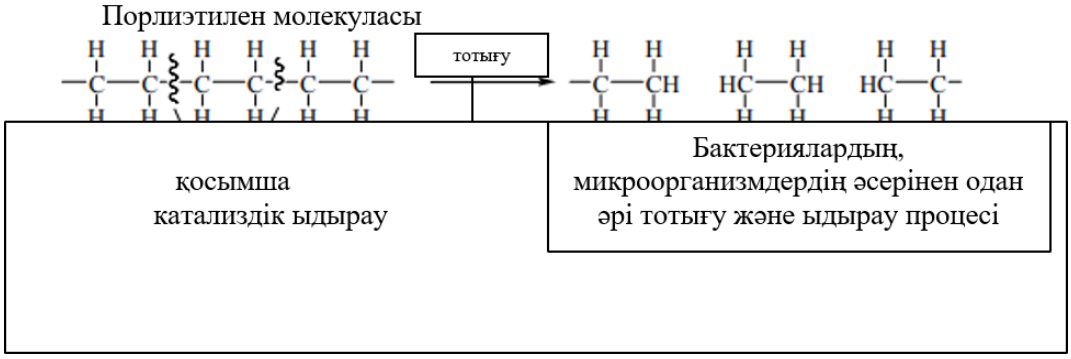
РНА-әртүрлі микроорганизмдер шығаратын полиэфирлі қосылыстар [39,58,69-72].

d2w бар полимерлі материалдың ыдырау процесі – АОҚ (ауа оттегінің қатысуымен) ыдырау деп аталады, ал d2w бар полимерлі материал – АОҚ – ыдырайтын полимерлі материал деп аталады [73-75].

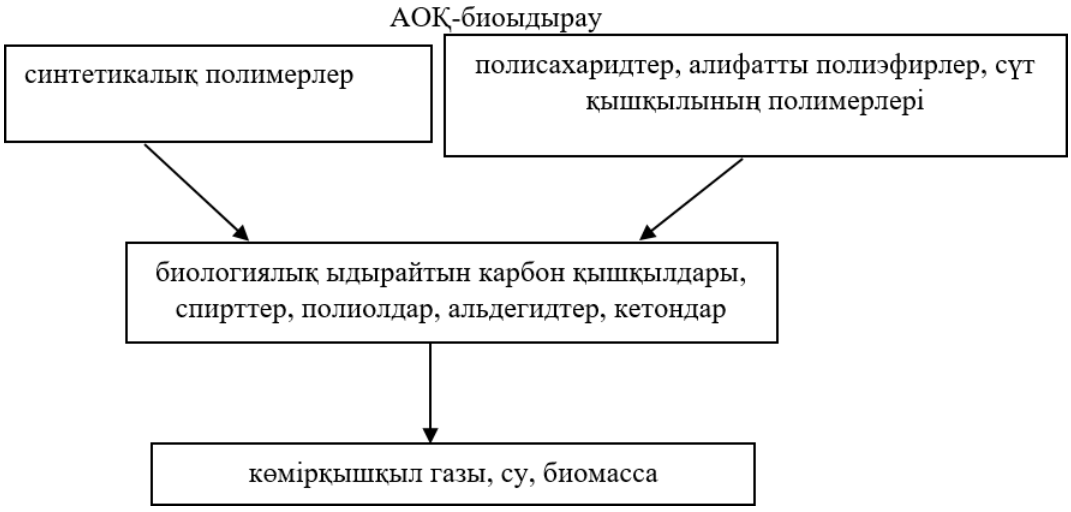
8-суретте екі үдерісте де көрінетін полиэтиленнің ыдырауы мысалында АОҚ қоспасының жұмыс принципі көрсетілген [43,56,58,76]:

а) тотығу катализаторының (d2w қоспалары) әсерінен полимер молекуласы көптеген шағын молекулалы фрагменттерге ыдырайды;

ә) шағын молекулалы фрагменттерді бактериялар сіңіреді (ассимиляциялайды), бұл құбылыс CO_2, су және биомассаны береді. Бұлжағдайда тотығу процесінен кейін полимер бетінде микроорганизмдердің өсуі байқалады (8-сурет).



8 - сурет. АОҚ қоспасының әсер ету принципі



9 - сурет. Полимерлі композициялық материалдардың ыдырауы

АОҚ - биологиялық ыдырайтын полимерлі композитті материалдардың маңызды ерекшелігінің бірі – олардың метан түзеалмауы, өйткені бұл полимерлі композитті материалдардың биодеградациясы ауа оттегі, жылу және жарық әсерінен пайда болатын аэробты процесс. Анаэробты процесс гидролиз болатын ыдыраудың бастапқы сатысы болып табылатын гидрооқшауланатын полимерлі композитті материалдарға тән процесс. Бұл процесс оттегінің қатысуынсыз жүзеге асырылады.9-суретте екі процесс те көрсетілген – аэробты және анаэробты [77-80].

Соңғы жылдары бүкіл әлемде өсімдік және жануарлар шикізаты негізінде биополимерлер-

ді алу бағыты белсенді дамып келеді. Табиғатта кейіннен биодеградацияға қабілетті полимерлерден жасалған өнімдерді өндірудің негізгі шикізат көздері сүт қышқылы, гидроксиалканаттар, хитин, хитозан, целлюлоза, крахмал және т.б. Микроорганизмдердің, судың және топырақтың әсерінен бұл полимерлер негізінен көмірқышқыл газы мен суға ыдырайды [65,79,81-84].

Синтетикалық полимерлі композиттердің орнына биополимерлі композиттерді қолданудың маңызды артықшылықтарының бірі – табиғатта шектеулі қорлары бар мұнай, көмір және газдан басқа, табиғатта үнемі өндірілетін заттар мен өнімдерді шикізат ретінде пайдалану мүмкіндігі [84-86].

Крахмал мен пектин қоспасынан бактерияларды бұзатын суда еритін пленка алу үшін композицияға пластификаторлар енгізіледі: глицерин немесе полиоксиэтиленгликоль. Сонымен қатар, крахмал құрамының жоғарылауымен пленканың сынғыштығы артады. Құрамында крахмалмен бірге амилоза және әлсіз қышқылдардың шамалы мөлшері бар композициядан экструзия парақтарды алады, олардан қаптамаға арналған бұйымдарды үрлеп қалыптау арқылы жасайды [87-89].

Бу және ылғал өткізгіштігі төмендеген жабыспайтын целлофан алу үшін пленка өзгертіледі – полиэтилен, ацетилцеллюлоза, поливинилхлорид немесе басқа полимерлерден (қайталану) жасалған жұқа қорғаныш пленкамен жабылады, ылғалды ауа ортасында ұсталады, содан кейін эфироцеллюлоза лакпен (лакпен) ваннадан өткізіледі немесе азайту үшін фенол – формальдегид шайырымен гигроскопиялық өңделеді. Майлы ет – сүт өнімдері, жемістер, кондитерлік өнімдер, тұтыну тауарлары, техникалық өнімдер үшін орауыш материал ретінде улы емес орауыш қолданылады,ал медицинада имплантацияланатын орауыш материал қолданылады. Вискоза – жасанды былғары (кирза), вискоза талшықты емес бұйымдар және вискоза талшығын иіру үшін қолданылады [79,84,90].

Белсенді биологиялық ыдырайтын толтырғыш ретінде құрамында крахмалы бар ең таныМал және ірі тонналық синтетикалық өнім mater-Bi ТМ материалы қолданылады(маркалары AT 05H, AF 05H, A 105H, AB 05H, AB 06H, AF 10H) [91].

Ауыл шаруашылығына арналған полиэтилен, полипропилен немесе полиэтилентерефталат негізіндегі жабындардың фото- және биодеградациясын жеделдету мақсатында оларға целлюлоза пульпасы, алкилкетондар немесе құрамында карбонил топтары бар фрагменттер енгізіледі. Алынған жабындар фото- және биологиялық ыдырай бастағанға дейін 8-12 апта бойы сақталады [56,68,90].

Толтырғыштардың мөлшері мен пішіні де беріктік пен биологиялық ыдыраудың қажетті қоспасына қол жеткізуде маңызды рөл атқарады. Нанобөлшектерді немесе наноцеллюлозаны толтырғыш ретінде пайдалану экологиялық таза материал шегінде бола отырып, композиттің беріктік сипаттамаларын едәуір арттыруға мүмкіндік береді [1,7,18,92].

Альтернативті композициялық материалдар матрицадан және арматуралық фазалардан тұратын көп компонентті жүйелер болып табылады, олардың мақсаты бірегей механикалық, термиялық және басқа физика-химиялық қасиеттерге қол жеткізуді көздейді. Олар аэроғарыш, автомобиль және энергетика салаларын қоса алғанда, бірқатар салаларда, атап айтқанда атом энергетикасында дәстүрлі металл және керамикалық материалдарды ауыстыру мақсатында әзірленуде, мұнда беріктікке, ыстыққа төзімділікке және радиацияға төзімділікке қатаң талаптар қойылады [8,13,17,93].

Перспективалы баламалардың бірі – жоғары беріктігі мен коррозияға төзімділігі бар полимерлі композитті материалдар. Мысалы, көміртекті талшықтармен немесе нанобөлшектермен (мысалы, графен немесе наноалмаздар) күшейтілген полипропилен сияқты термопластикалық матрицаларға негізделген композиттер жоғары қаттылық пен термиялық тұрақтылыққа ие, бұл олардың радиациялық өрістерді қоса алғанда, төтенше жағдайларда жұмыс істеуге әлеуеті жоғары екенін көрсетеді [87,88,94].

Полимерлі композиттерден басқа, металдардың беріктігі мен керамиканың ыстыққа төзімділігін біріктіретін металл-керамикалық материалдарға көп көңіл бөлінеді. Классикалық мысал - кремний карбиді (SiC) және кремний нитриді (Si_3N_4) негізіндегі композициялар, олардың тотығуға және радиациялық әсерге төзімділігі жоғары, бұл әсіресе ядролық реакторлардың компоненттерінде қолдану үшін өте маңызды [78,83,95].

Жоғары температурада керемет механикалық қасиеттерді көрсететін интерметаллид матрицалары бар композициялық материалдар да белсенді түрде зерттелуде. Бұл материалдар жоғары температураға төзімділік пен механикалық тұрақтылықты қажет ететін жағдайларда, мысалы, реактивті қозғалтқыштарда және айтарлықтай жылу жүктемелеріне ұшырайтын басқа компоненттерде қолданылады [68,87,96].

Биополимерлермен, табиғи толтырғыштармен, қайта өңделген материалдармен және наноөлшемді қоспалармен жасалған балама композиттер қазіргі заманғы материалтану саласында беріктік пен тұрақтылықты үйлестіудің тамаша мысалы болып табылады. Бұл композиттер орау, автомобиль өнеркәсібі, медицина, ауыл шаруашылығы, құрылыс және т.б. сияқты әртүрлі салаларда қолдануға жаңа мүмкіндіктер ашады. Экологиялық таза полимерлі композитті материалдарер мұнайға және басқа қазба ресурстарына тәуелділікті азайтуға, көміртегі ізін азайтуға және қалдықтарды азайтуға мүмкіндік береді [93-96].

Қорытынды. Полимерлі композициялық материалдарды (ПКМ) өндіру нарқтық жүйе үшін – аэроғарыш, автомобиль, теңіз, тұтыну, жел энергиясы және т.б. салада қолданылады. Мысалы, коммерциялық аэроғарыш өндірісінде материалдық, технологиялық және құндық параметрлер қолданылатын композиттерден, технологиялық процестерден және кеме жасаудағы шығындардан айтарлықтай ерекшеленеді. Материалдар осы талаптарды қанағаттандыру мақсатында ғалымдар авиация және машина жасаудың әртүрлі бағыттарындағы жобаларды іске асыру үшін қажетті материалдарды әзірлеуді көздейтін 2030 жылға дейінгі стратегиялық даму жоспары әзірленді [54,95]. [15-16] әдебиеттердегі мәліметтер бойынша жүргізілген ғылыми-зерттеу жұмыстары 2025-2035 жылдары авиациялық конструкцияларды құрудың, сондай-ақ әртүрлі салаларда әзірленген материалдар мен технологияларды пайдаланудың жаңа перспективаларын ашуға мүмкіндік береді.

Полимерлі композициялық материалдар (ПКМ) әртүрлі талаптарды қанағаттандырады. Қолжетімді әртүрлі талшықтар, шайырлар, жабдықтар, өңдеу және әрлеуде қолдану үшін кезкелген бөлікті жасауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, беріктік пен қаттылықтың жоғары өнімділігі, беріктігі және металдармен салыстырғанда ПКМ массасының едәуір аз болуы қазіргі уақытта бұл материалдардың көбірек қолданылуын көрсетеді. Бұл ретте қолданыстағы технологияларды жетілдіру де орын алуда, сондай-ақ қазіргі заманғы нарыққа қажетті сұраныстарға ие бөлшектер үшін қажетті материалдардың сапасын және олардың өнімділігін қамтамасыз ететін оңтайлы технологиялық параметрлерді анықтау мақсатында зерттеулер жүргізілуде.

Болашақта аддитивті технологияларды қолдану көлемін кеңейту жоспарлануда. Дәстүрлі технологияның көмегімен мұндай бөлшектерді жасау мүмкін болмады. Қазіргі уақытта аддитивті технологиялар негізінен шағын өлшемді термопластикалық материалдардан жасалған конструкцияларды шығарады. Болашақтаәртүрлі байланыстырғыштар негізінде үлкен өлшемді бөлшектерді жасау, бөлшектерді қайта пайдалану технологияларын әзірлеу жоспарлануда.. Тәжірибе көрсеткендей, құнның төмендеуі көлемнің ұлғаюымен және өндірістің жаңа, үнемді әдістерін дамыту мүмкіндігі артып келеді. ПКМ конструкцияларының қызмет ету мерзімі 50 жылдан асатынына және пайдалану шығындарының аз болуын талап ететініне қарамастан, полимерлі композициялық материалдар өнімнің массасын азайту қымбат компоненттер мен өндірістің күрделілігін болдырмауға мүмкіндік беретін жерде қолданылады.Алайда, қазіргі уақытта ПКМ өнімдерінің құны жоғары болып қалады және металдар сияқты дәстүрлі материалдардан

жасалған өнімдердің құнынан асып түсу қаупі де бар.

Болашақта ұшу аппараттарының конструкцияларында да, өнеркәсіптің басқа салаларында да ПКМ кеңінен енгізу жоспарлануда. ПКМ конструкцияларын дайындау автоматтандырылған процестерді енгізумен қатар жүреді, бұл отандық желілерді, роботтарды және басқа жабдықтарды құруды, сондай-ақ осы жабдықты жобалайтын (оның ішінде жабдықты), дайындайтын және пайдаланатын мамандарды даярлауды ұйымдастыруды талап етеді. ПКМ-ды алуды одан әрі дамыту автоклавсыз технологияларды пайдалануға көшумен қатар жүретін болады, бұл конструкцияларды, оның ішінде ірі габаритті конструкцияларды жаппай дайындауды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. ПКМ-ды конструкцияларда тез және сенімді пайдалану шарттарының бірі – композициялық материалдардан жасалған бұйымдарды жобалау, дайындау және өмірлік цикл кезеңдерінде математикалық модельдеуді енгізу, сондай-ақ жасанды интеллектті пайдалану. Термопластикалық материалдарды, термопластикалық және термореактивті матрицалардың комбинацияларын, конструкциялардың металл элементтерін композиттермен бірге қолдануды кеңейту күтілуде. ПКМ-ды әр түрлі салаларға одан әрі енгізудің қажетті шарты композиттерді пайдаланудың, кейіннен кәдеге жаратудың немесе қайта пайдаланудың барлық кезеңдерінде қолданудың экономикалық тиімділігін қамтамасыз ету үшін олардың құнын төмендету қажет. Жалпы қазіргі кездегі ғалымдардың көқарасы қоршаған ортаға зиян келтірмейтін, экологиялық таза, ауада оңай ыдырайтын полмерлі композитті материалдарды алу әдістерін зерттеп, жетілдіру және оны өндірісте, күнделікті тұрмыс-тіршілікте қолдануға ұсыну болып табылады.

Қаржыландыру: *BR24992883 Қызмет көрсету және ҒЗЖ қолданбалы нәтижелерін ел экономикасының басым секторларына енгізу үшін мұнай-химия және полимерлік материалдардың ғылыми-технологиялық паркін құру (2024-2026 жж.)*

Әдебиеттер

1. Семенов В.А., Русаков С.В., Гилев В.Г. Об электропроводности эпоксидной матрицы с углеродными нанотрубками // Вестник ПНИПУ, Механика. -2019. - № 3. - С.88-93. DOI 10.15593/perm.mech/2019.3.09.

2. Hongjie D. Carbon nanotubes: opportunities and challenges // Surface Science. -2002.-Vol.500(1-3). - P.218–241. DOI 10.1016/S0039-6028(01)01558-8.

3. Bandow S., Takizawa M., Hirahara K., Yudasaka M., Iijima S. Raman scattering study of double-wall carbon nanotubes derived from the chains of fullerenes in single-wall carbon nanotubes //Chemical Physics Letters. -2001. -Vol.337(1-3). -P.48-54. DOI 10.1016/S0009-2614(01)00192-0.

4. Раскутин А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. -2017. - №5. - С.344-348. DOI 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.

5. Dresselhaus M.S., Dresselhaus G. Intercalation compounds of graphite // Advances in Physics. -2002. -Vol.51(1). DOI 10.1080/00018730110113644.

6. Hirata M., Gotou T., Horiuchi S., Fujiwara M., Ohba M. Thin-filmparticlesof graphite oxide 1: High-yield synthesis and flexibility of the particles//Carbon -2002 -Vol.42.(14).- P.2929-2937. DOI 10.1016/j.carbon.2004.07.003.

7. Ruoff R.S., Yu M.F., Lourie O., Dyer M.J., Moloni K., Kelly T. F. Strength and breaking mechanism of multiwalled carbon nanotubes under tensile load // Science: Natural Materials. -2000.- Vol.287(5453). - P. 637 - 640. DOI 10.1126/science.287.5453.637.

8. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang,Y., Dubonos, S., Grigorieva I.V., Firsov

A.A. Electric field effect in atomically thin carbon films//Science.- 2004.-Vol.306(5669).- P.666-669. DOI 10.1126/science.1102896.

9. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang, D., Katsnelson M.I, Grigorieva I. V., Dubonos S.V., Firsov A. A. Two-dimensional gas of massless Dirac fermions ingraphene // Nature. -2005. -Vol.438. -P.197- 200. DOI: 10.1038/nature04233.

10. Zhang Y., Tan Y.W., Stormer H.L., Kim P. Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry's phase in graphene // Nature. -2005. -Vol.438. -P.201-204. DOI 10.1038/nature04235.

11. Zhang Y., Small J.P., Amori M.E.S., Kim P. Electric field modulation ofgalvanomagnetic properties of mesoscopic graphite // Physical Review Letters. -2005. -Vol.94(17):176803. DOI 10.1103/PhysRevLett.94.176803.

12. Berger C., Song Zh., Li T., Li X., Ogbazghi A., Feng R., Dai Zh., Marchenkov A., Conrad E., First P., Heer W. Ultrathin epitaxial graphite: two-dimensional electron gasproperties and a route toward graphene-based nanoelectronics // The Journal of Physical Chemistry B. - 2004. - Vol.108(52). -P.19912-19916. DOI 10.1021/jp040650f.

13. Stankovich, S. et al. Stable aqueous dispersions of graphitic nanoplatelets viathe reduction of exfoliated graphite oxide in the presence of poly(sodium 4-styrenesulfonate) // Journal of Materials Chemistry. -2006. - Vol.16. - P.155-158. DOI 10.1039/B512799H.

14. Stauffer D., Aharnoy A. Introduction to Percolation Theory // Taylor & Francis, London. -2018. - 192 p. DOI 10.1201/9781315274386.

15. Ounaies Z., Park C., Wise K.E., Siochi E.J., Harrison J.S. Electrical properties of single wall carbon nanotube reinforced polyimide composites // Composites Science and Technology. - 2003. -Vol. 63(11). - P.1637-1646. DOI 10.1016/S0266-3538(03)00067-8.

16. Chung L. Electrical applications of carbon materials // Journal of Materials Science. -2004. -Vol.39(8). - P.2645 - 2661. DOI 10.1023/B:JMSC.0000021439.18202.ea.

17. Wang X.L., Bai H., Yao Z.Y., Liu A.R., Shi G.Q. Electrically conductive and mechanically strong biomimetic chitosan/reduced grapheme oxide compositefilms // Journal of Materials Chemistry. -2010. -Vol. 20(41). -P.9032- 9036. DOI 10.1039/C0JM01852J.

18. Stankovich S. et al. Graphene-based composite materials // Nature. -2006. - Vol.442. -P.282-286. DOI 10.1038/nature04969.

19. Fang M., Wang K.G., Lu H.B. et al. Covalent polymer functionalization of graphene nanosheets and mechanical propertiesof composites // Journal of Material Chemistry. -2009. -Vol.19. -P.7098-7105. DOI 10.1039/B908220D.

20. Shahil K.M., Balandin A.A. Graphene-multilayer graphene nanocomposites as highly efficient thermal interface materials// Nano Letters. -2012. -Vol.12(2).-P.861-867. DOI 10.1021/nl203906r.

21. Rafiee M.A. et al. Fracture and fatigue in graphene nanocomposites//Small. -2010. -Vol.6(2).- P.179 - 183. DOI 10.1002/smll.200901480.

22. Tjong S.C. Polymer nanocomposite bipolar plates reinforced with carbon nanotubes and graphite nanosheets//Energy and Environment Science.-2011.-Vol.4(3) -P.605-626. DOI 10.1039/C0EE00689K.

23. Байгаринова Г.А., Мырзабекова М.М., Тулегенова М.А., Гусейнов Н.Р., Ильин А.М. Получение и исследование новых композитных материалов полимер-графен // Вестник КазНУ: Серия физическая. -2013. - № 4(47). -С.23-29. ISSN: 1563-0315, eISSN: 2663-2276.

24. Ilyin A.M., Guseinov N.R., Nemkaeva R.R., Tsyganov I.A., Asanova S.B., Kudryashov V.V. Bridge-like radiation defects in few-layer grapheme // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research.

-2013. -Vol.315. -P.192-196. DOI10.1016/j.nimb.2013.03.058 .

25. Tarumoto, N., Uragami, T., Kobayashi, H. Development of the high performance GFRP with multiwall carbon nanotrubes // NanoTech. -2011. -Vol.1. -P.85-88. ISBN 978-1-4398-7142-3

26. Klemm D., Kramer F., Moritz S., Lindström T., Ankerfors M., Gray D., Dorris A. Nanocellulose: a new family of nature-based materials // Angewandte Chemie International Edition. -2011. - Vol.50(24). -P.5438-5466. DOI 10.1002/anie.201001273.

27. Dai L., Cheng T., Duan, C. et al.3D printing using plant-derived cellulose and its derivatives // Carbohydrate Polymers. -2019. -Vol.203. -P.71-86. DOI 10.1016/j.carbpol.2018.09.027.

28. Chaouch, M.A., Benvenuti, S. The Role of Fruit by-Products as Bioactive Compounds for Intestinal Health // Foods. -2020. -Vol. 9(11):1716. DOI 10.3390/foods9111716.

29. Nogi M., Iwamoto S., Nakagaito A.N, Yono H. Optically transparent nanofiber paper // Adv Mater. -2009. -Vol.21(16).- P.1595-1598. DOI 10.1002/adma.200803174.

30. Cruz J., Fangueiro R. Surface modification of natural fibers: A Review // Procedia Engineering. -2016. -Vol.155. -P.285-288. DOI 10.1016/j.proeng.2016.08.030.

31. Thakur V.K., Thakur M.K. Chemical functionalization of carbon nanomaterials // Chemistry and applications. -2015. -1101 p. DOI 10.1201/b18724

32. Яковлев Е.А., Яковлев Н.А., Ильиных И.А., Бурмистров И.Н., Горшков Н.В. Исследование влияния функционализированных многостенных углеродных нанотрубок на электропроводность и механические характеристики эпоксидных композитов//Вестник ТГУ. Химия. -2016. -№ 3(5). - С.15-23. DOI 10.17223/24135542/5/2.

33. Xiao P., Xiao M., Gong K. Preparation of exfoliated graphite/polystyrene composite by polymerization-filling technique//Polimer. -2001. -Vol.42(11). -P.4813-4816. DOI 10.1016/S0032-3861(00)00819-3.

34. Маркевич И.А., Дрокин Н.А., Селютин Г.Е. Электрофизические и механические свойства композита с повышенной диэлектрической проницаемостью на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифицированного углеродными нанотрубками //Журнал технической физики.- 2020. - Т.7.- С.1151-1158. DOI 10.21883/JTF.2020.07.49450.391-19

35. Комаров Ф.Ф., Парфимович И.Д., Ткачев А.Г., Щегольков А.В.,Мильчанин О.В., Бондарев В. Влияние методов формирования полимерных композитных материалов с углеродными нанотрубками на механизмы электропроводности // Журнал технической физики. -2021. -Т.3. -С.475-483. DOI 10.21883/JTF.2021.03.50526.222-20.

36. Ajayan P.M., Stephan O., Colliex C., Trauth D. Aligned Carbon Nanotube Arrays Formed by Cutting a Polymer Resin-Nanotube Composite// Science. -1994. -Vol.265(5176). -P.1212-1214. DOI 10.1126/science.265.5176.1212.

37. Behnam A., Guo, J., Ural A. Effects of nanotube alignment and measurement direction on percolation in single-wall carbon nanotube films // Journal of Applied Physics. -2007. -Vol.102:044313. DOI: 10.1063/1.2769953.

38. Тасекеев М.С., Еремеева Л.М. Производство биополимеров как один из путей решения проблем экологии и АПК // Алматы: НЦ НТИ. -2009. - 200 с. URL: http://bio.sfu-kras.ru/files/2540_Proizvodstvo_biopolimerov.pdf.

39. Ahmad A., Banat F., Alsafa, H., Shadi W. An overview of biodegradable poly (lactic acid) production from fermentative lactic acid for biomedical and bioplastic applications//Biomass Conversion and Biorefinery.-2024. -Vol.14(8).-P.3057-3076. DOI 10.1007/s13399-022-02581-3.

40. Puoci F., Iemma F., Spizzirri U.G., Cirillo G., Curcio M., Picci N. Polymer in Agriculture: a Review // Agricultural and Biological Sciences. -2008. -Vol.3(1). -P.299–314. DOI 10.3844/ajabssp.2008.299.314.

41. Kshad A.E., Naguib H.E. Development and modeling of multi-phase polymeric origami inspired architecture by using pre-molded geometrical features // Engineering, Materials Science. -2016. -Vol.26(2). -P. 1-16. DOI 10.1088/1361-665X/26/2/025012.

42. Osman A.M., Virgilio N., Rouabhia M., Mighri F. Polylactic Acid (PLA) Foaming: Design of Experiments for Cell Size Control//Materials Sciences and Applications.-2022- Vol.3(2).-P.63-77. DOI 10.4236/msa.2022.132005.

43. Nofar M., Park C.B. Poly(Lactic Acid) Foaming//Progress in Polymer Science. -2014. -Vol.39(10). -P.1721-1741. DOI 10.1016/j.progpolymsci.2014.04.001.

44. Rhomie L., Heck I. A Review of Commercially Used Chemical Foaming Agents for Thermoplastic Foams//Journal of Vinyl and Additive Technology.-2004.-Vol 4(2)-P.113–116. DOI 10.1002/vnl.10027.

45. Jamshidian M., Arab-Tehrany E., Imran M., Jacquot M., Desobry S. Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.-2010.-Vol.9(5).-P.552-571.DOI 10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x.

46. Drumright R.E., Gruber P.R., Henton D.E. Polylactic Acid Technology //Advanced Materials. -2000. -Vol.12(23). -P.1841-1846. DO: 10.1201/9780203508206.ch16.

47. Rasal R.M., Janorkar A.V., Hirta D.E. Poly (Lactic Acid) Modifications // Progress in Polymer Science. -2010. -Vol.35(3). -P. 338–356. DOI 10.1016/j.progpolymsci.2009.12.003.

48. Каблов, Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник РАН -2020. -Т.90. -№4. -С.331-334. DOI 10.31857/S0869587320040052.

49. Каблов Е.Н. Становление отечественного космического материаловедения // Вестник РФФИ. -2017. -№ 3(95). -С.97-105. DOI 10.22204/2410-4639-2017-095-03-97-105.

50. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»//Авиационные материалы и технологии.-2015.-№1.-С.3-33. DOI 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.

51 Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов (обзор) // Авиационные материалы и технологии. –2019. –№ 3 (56). -С.48-58. DOI 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.

52. Ткачук А.И., Донецкий К.И., Терехов И.В., Караваев Р.Ю. Применение термореактивных связующих для изготовления полимерных композиционных материалов методами безавтоклавного формования//Авиационные материалы и технологии. -2021. -№ 1 (62). -С.3. DOI10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.

53. Ткачук А.И., Загора А.Г., Донецкий К.И., Евдокимов А.А. Связующие для полимерных композиционных материалов, применяемых при строительстве быстровозводимых мостовых сооружений // ТРУДЫ ВИАМ. -2020. -№ 12(94). -С.67-74. DOI 10.18577/2307-6046-2020-0-12-67-74.

54. Нонг К.К., Нгуен В.Ч., Май В.М., Фан, Б.Т., Нгуен В.Ч., Донг В.К., Ле Х.К., Као Н.Л., Ануфриев Н.Г. Результаты натурных испытаний лакокрасочных покрытий для прибрежных сооружений и судов в тропическом климате Вьетнама//Журнал практика противокорро- зионной защиты. -2021.-Т.26.-№ 1.-С.17-27. DOI 10.31615/j.corros.prot.2021.99.1-2.

55. Белов Д.В., Беляев С.Н. Об определяющей роли биопленок микроорганизмов в инициировании иразвитии микробиологической коррозии металлов(часть 2)//Практика развитии Проти-

вокоррозионной защиты.-2023.-Т.28(1).-С.43-58 DOI 10.31615/j.corros.prot.2023.107.1-5.

56. Cassagneau T., Guerin F., Fendler J.H. Preparation and characterization ofultrathinfilms layer-by-layer self-assembled from graphite oxide nanoplateletsand polymers // Langmuir. -2000. -Vol. 16(18). -P.7318-7324. DOI 10.1021/la000442o.

57. Мазитова А.К., Аминова Г.К., Зарипов И.И., Вихарева И.Н. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. -2021. -Т.13 (1). -С.32-38. DOI 10.15828/2075-8545-2021-13-1-32-38.

58. Vikhareva I.N., Zaripov I.I., Kinzyabulatova D.F., Minigazimov N.S.,Aminova G.K. Biodegradable polymer materials and modifying additives: state of the art. Part I.// Nanotechnologies in Construction. -2020. -Vol.12(6).-P.320-325. DOI10.15828/2075-8545-2020-12-6-320-325.

59. Adamcová D., Radziemska M., Fronczyk J., Zloch J., Vaverková M. D. Research of the biodegradability of degradable/biodegradable plastic material in various types of environments // Przegląd Naukowy-Inżynieria i Kształtowanie Środowiska = Scientific Review -Engineering and Environmental Sciences. -2017.- Vol.26(1).- P.3-14. DOI 10.22630/PNIKS.2017.26.1.01.

60. Артёмов А.В. Ершова А. С., Шкуро А. Е., Бурындин В. Г. Методика для оценки степени биоразлагаемости пластиков на основе лигноцеллюлозосодержащего сырья без добавления связующих веществ//Лесотехнический журнал.-2024.-Т.14.-№1(53).-С.134-150. Библиогр.: с.146–149 (28 назв.). DOI 10.34220/issn.2222-7962/2024.1/8.

61. Mazitova A.K., Aminova G.K., Buylova E.A., Zaripov I.I., Vikhareva I.N. Biodegradable polymer materials and modifying additives: state of the art. Part III // Nanotechnologies in construction. - 2021.-Vol.13(2). - S.73-78. DOI 10.15828/2075-8545-2021-13-2-73-78.

62. Сусоева, И. В., Вахнина, Т. Н., Ибрагимов, А. М. Оценка ресурсного потенциала использования пылевидных отходов лигноцеллюлозы для производства строительных композиционных материалов. Новости высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. -2019. -№ 3(381). - С.37-41.

63. Готлиб Е.М., Вдовина Т.В., Ямалеева Е.С. Повышение биоразлагаемости эпоксидных материалов за счет модификации растительными маслами и их кислородсодержащими производными // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. -2020. -Т.10 (4). -С.700-707. DOI 10.21285/2227-2925-2020-10-4-700-707.

64. Папахин А.А., Колпакова В.В., Бородина З.М., Сарджveладзе А.С.,Васильев И.Ю.

Применение модифицированного пористого крахмала для создания биоразлагаемых композиционных полимерных материалов // Техника и технология пищевых производств. -2020. -Т.50 (3). -С.549-558. DOI10.21603/2074-9414-2020-3-549-558.

65. Gong T., Hou Y., Yang Xi., Guo Y. Gelation of hydroxyethyl cellulose aqueous solution induced by addition of colloidal silica nanoparticles // International Journal of Biological Macromolecules. -2019. -Vol.134. -P.547-556. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.069.

66. Tajik S., Maghsoudlou Y., Khodaiyan F., Jafari S.M., Ghasemlou M., Aalami M. Soluble soybean polysaccharide: A new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging//Carbohydrate Polymers.-2013-Vol.97(2) -P.817-824. DOI 10.1016/j.carbpol.2013.05.037.

67. Asyakina, L.K., Dolganyuka, V.F., Belova, D.D., Peral, M.M., Dyshlyuk, L.S. The study of rheological behavior and safety metrics of natural biopolymers // Foods and Raw Materials. -2016. -Vol.4(1).- P. 70-78. DOI 10.21179/2308-4057-2016-1-70-78

68. David R. W., Narayan R., Jeffrey J. K. Reversible Kinetics and Thermodynamics of the

Homopolymerization of l-Lactide with 2-Ethylhexanoic Acid Tin (II) Salt // Macromolecules. -1997. -Vol. 30(23). -P.7075-7085. DOI10.1021/ma970631m.

69. Torres F.G., Troncoso O.P., Torres C. et al. Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops // International Journal of Biological Macromolecules. -2011. -Vol.48(4). -P.603-606. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2011.01.026.

70. Jones L.R., Turner R.Z., Clement G. Collins Rice G.C., O'Hare D. Heteroleptic Calcium Complexes Supported by a Phenoxy-Imine NON Ligand: Polymerization of Cyclic Esters by a Ligand-Assisted, Activated-Monomer Mechanism//Organometallics. -2024. -Vol.43(9). -P.1005-1020. DOI 10.1021/acs.organomet.4c00028.

71. Avérous L., Pollet E. Biodegradable polymers // Environmental Silicate Nano-Biocomposites // London: Springer. - 2012. -P.13 - 39. DOI 10.1007/978-1-4471-4108-2-2.

72. Ponomarev A.V. Radiolysis as a Powerful Tool for Polymer Waste Recycling // High Energy Chemistry. -2020. -Vol.54(3). -P.194-204. DOI 10.1134/S0018143920030121.

73. Carr L.G., Parra D.F., Ponce P., Lugao A.B., Buchler P.M. Influence of fibers on the mechanical properties of cassava starch foams//Journal of Polymers and the Environment.-2006. -Vol.14(2). -P.179-183. DOI 10.1007/s10924-006-0008-5.

74. Яркова А.В., Шкарин А.А., Зиновьев А.Л., Новиков В.Т. Синтез лактида в инертной среде (Синтез материалов)//Вестник Томского государственного университета. Химия. -2015. -№ 1. - С.65-71. DOI 10.17223/24135542/1/10.

75. Garlotta1 D.A. A Literature Review of Poly(Lactic Acid) // Journal of Environmental Polymer Degradation. -2001. -V.9(2). -P.63-84. DOI 10.1023/A:1020200822435.

76. Малафеев К.В., Москалюк О.А., Юдин В.Е., Седуш Н.Г., Чвалун С.Н., Елоховский В.Ю., Попова Е.Н., Иванькова Е.М. Получение и свойства волокон из сополимера молочной и гликолевой кислот // Высокомолекулярные соединения. Серия А. -2017. -Т.59. -№ 1. - С.47-52. DOI 10.7868/S2308112017010096.

77. Tauqir A.Sh. Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene // Encyclopedia of Membranes. -2015. DOI 10.1007/978-3-642-40872-4_591-2.

78. Puccini M., Seggiani M., Vitolo S. Polyethylene and hydrolyzed collagen blend films produced by blown extrusion // Chemical Engineering Transactions. -2015. - Vol.43. -P.1705-1710. DOI 10.3303/CET1543285.

79. Волова Т. Г., Севастьянов В. И., Шишацкая Е. И. Полиоксиалканоаты (ПОА) - биоразрушаемые полимеры для медицины // Новосибирск, Издательство СО РАН. - 2003. - 330 с. ISBN 5-7692-0608-X.

80. Zowada R., Foudazi R. Polyfoam: Foam-Templated Microcellular Polymers // Langmuir. -2020. -V.36(27).- P.7868-7878. DOI 10.1021/acs.langmuir.0c00932.

81. Foudazi R., Zowada R., Manas-Zloczower I., Feke D.L. Porous Hydrogels: Present Challenges and Future Opportunities. Langmuir. -2023. -Vol.39 (6).-P.2092-2111. DOI 10.1021/acs.langmuir.2c02253.

82. Zhou Z., Lai C., Zhang L. Qian Y., Hou H., Reneker D.H., Fong H. Development of carbon nanofibers from aligned electrospun polyacrylonitrile nanofiber bundles and characterization of their microstructural, electrical, and mechanical properties // Polymer. -2009. -Vol.507(13). -P.2999-3006. DOI 10.1016/j.polymer.2009.04.058.

83. Hameed N., Sharp J., Nunna S., Creighton C., Magniez K., Jyotishkumar P., Salim N.V., Fox B. Structural transformation of polyacrylonitrile fibers during stabilization and low

temperature carbonization // Polymer Degradation and Stability. -2016. -V.128. -P. 39-45. DOI 10.1016/j.polymdegradstab.2016.02.029.

84. Samal S.K., Fernandes E.G., Corti A., Chiellini E. Bio-based polyethylene-lignin composites containing a pro-oxidant/pro-degradant additive: preparation and characterization // Journal of Polymers and the Environment. -2014. -Vol.22. -P.58–68. DOI 10.1007/s10924-013-0620-0.

85. Wang S.Y., Zhu B.B., Li D.Z. et al. Preparation and characterization of TiO_2/SPI composite film // Materials Letters. -2012. -Vol.83. -P.42-45. DOI 10.1016/j.matlet.2012.05.104.

86. Вешкин Е.А., Постонов В.И., Постонова М.В., Баранников А.А. Опыт применения вакуум-инфузионных технологий в производстве конструкций из ПКМ //Известия Самарского научного центра Российской академи наук. -2018. -Т.20. -№ 4(3). -С.344-350.

87 Rogalski, J.J., Bastiaansen, C.W., Peijs, T. Rotary jet spinning review - a potential high yield future for polymer nanofibers//Nanocomposites.-2017.-Vol.3(4).-P.97-121. DOI 10.1080/20550324.2017.1393919.

88. Dyshlyuk L.S. Analysis of the structural and mechanical properties and micromorphological features of polymeric films based on hydrocolloids of vegetable origin used for the production of biodegradable polymers//Foods and Raw Materials.-2014.-Vol.2(2)-P.88-97. DOI 10.12737/5465.

89. Szabo T., Szeri A., Dekany I. Composite graphitic nanolayers prepared byself-assembly between finely dispersed graphite oxide and a cationic polymer // Carbon. -2005. -Vol.43(1). -P.87-94. DOI 10.1016/j.carbon.2004.08.025.

90. Wasserman L.A., Papakhin A.A., Borodina Z.M. et al. Some physico-chemical and thermodynamic characteristics of maize starches hydrolyzed by glucoamylase // Carbohydrate Polymers. -2019. -Vol.212. -P.260-269. DOI 10.1016/j.carbpol.2019.01.096.

91. Iroh J.O., Bell J.P., Scola D.A., Wesson J.P. Electrochemical process for preparing continuous graphite fibre-thermoplastic composites//Polymer.-1994.-Vol.35(6).-P.1306-1311. DOI 10.1016/0032-3861(94)90028-0.

92. Jiayan Xu J., Hu Y., Song L., Wang Q., Fan W., Liao G., Chen Z. Thermal analysis of poly (vinyl alcohol)/graphite oxide intercalated composites // Polymer Degradation and Stability. -2001. -Vol.73(1). -P.29-31. DOI 10.1016/S0141-3910(01)00046-5.

93. Bai H., Li Ch., Shi G. Functional Composite Materials Based on Chemically Converted Graphene//Advanced Materials.-2011.-Vol.23 (9).-P.1089-1115. DOI 10.1002/adma.201003753.

94. Kuila T., Bose S., Mishra A.K., Khanra P., Kim H.N., Lee J.H. Chemical functionalization of graphene and its applications // Progress in Materials Science. -2012. -Vol.57 (7).-P.1061-1105. DOI 10.1016/j.pmatsci.2012.03.002.

95. Singh V., Joung D., Zhai L., Das S., Khondaker K.S., Seal S. Graphene based materials: Past, present and future//Progress in Materials Science.-2011.-Vol.56(8).-P.1178-1271. DOI 10.1016/j.pmatsci.2011.03.003.

96. Afanasov I.M., Morozov V.A., Kepman A.V., Ionov S.G., Seleznev A.N., Tendeloo G., Van Avdeev V.V. Preparation, electrical and thermal properties of new exfoliated graphite-based composites // Carbon. -2011. -Vol.47(1).-P.263-270. DOI10.1016/j.carbon.2008.10.004.

Сведения об авторах

Колпек А. - химия ғылымдарының кандидаты, ассоциированный профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің жаратылыстану ғылымдпры факультеті, химия кафедрасының доценті, Астана, Қазақстан, e-mail: kolpek_a@enu.kz;

Копишев Э.Е. - химия ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің жараты-

лыстану ғылымдпры факультеті, химия кафедрасының меңгерушісі, Астана Қазақстан, e-mail: kopishev_eye@enu.kz;

Сейтенова Г.Ж.- химия ғылымдарының кандидаты, ассоциированный профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің жаратылыстану ғылымдпры факультеті, химия кафедрасының доценті, Астана, Қазақстан, e-mail: seitenova_gzh@enu.kz;

Турсынова А.К.- химия ғылымдарының кандидаты, ассоциированный профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің жаратылыстану ғылымдпры факультеті, химия кафедрасының доценті м.а., Астана Қазақстан,e-mail: tursynova_ak@enu.kz;

Толымбекова Л.Б.- химия ғылымдарының кандидаты, ассоциированный профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің жаратылыстану ғылымдпры факультеті, химия кафедрасының доценті, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, e-mail: tolymbekova_lb@enu.kz.

Information about the authors

Kolpek A.- Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aynagulk@mail.ru;

Kopishev E.Ye.-Candidate of Chemistry Sciences, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kopishev_eye@enu.kz;

Seitenova G.Zhu.- Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, Astana, e-mail: seitenova_gzh@enu.kz;

Tursynova A. K.-Candidate of Chemical Sciences, Senior Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, e-mail: tursynova_ak@enu.kz;

Tolymbekova L.B.- Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: tolymbekova_lb@enu.kz.

МРНТИ 61.51.21 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1024**

CORRIGENDUM NOTICE: к статье К. Г. Сатенова, Е. М. Сулеймена, «Анализ результатов предварительной оценки целесообразности строительства ГПЗ на месторождении Х», №3(28),1024, сентябрь 2025 г. (https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1024). В опубликованной статье была допущена ошибка в разделе «Финансирование». Указание гранта ГФ является ошибочным и подлежит исключению. Корректной формулировкой считать следующее: «Исследование выполнено в рамках проекта Программно-целевого финансирования МНВО РК (ИРН: BR 24992761)». Данное исправление не затрагивает результаты исследования. Авторы приносят извинения за сложившуюся ситуацию. Опубликовано: 08.12.2025.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ГПЗ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ Х

[1-2]К.Г. Сатенов, [1-4]Е.М. Сүлеймен

[1]ТОО «КМГ Инжиниринг», Астана, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3]Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Лаборатория «ЯМР-спектроскопии»,
[4]ТОО «Институт прикладной химии», Астана, Казахстан
Корреспондент-автор: syerlan75@yandex.kz

В эпоху стремительного развития «зеленой» энергетики, с переходом на возобновляемые источники энергии, правительства многих стран и крупные нефтегазовые корпорации уделяют особое внимание прогнозированию глобальных тенденций в потреблении углеводородов в мировой экономике. Это прогнозирование служит ключевым ориентиром для определения стратегии будущего развития.

Природный газ играет ключевую роль в мировой энергетике и в международных отношениях по топливному балансу.

Газовая отрасль является основой экономического и социального процветания Республики Казахстан. Однако ее эффективное развитие сдерживается рядом факторов, среди которых низкая привлекательность инвестиций в проекты по увеличению газовых запасов, критический износ газотранспортной инфраструктуры и несоответствие ценообразования на внутреннем рынке условиям безубыточных поставок газа.

Ключевые слова: сжиженные углеводородные газы, жидкие углеводороды (ЖУ), установка комплексной подготовки газа (УКПГ), газоперерабатывающий завод, СУД (снижение устьевого давления), анализ разработки месторождений, оценка капитальных затрат.

Х КЕН ОРНЫНДА ГӨЗ ҚҰРЫЛЫСЫНЫҢ ОРЫНДЫЛЫҒЫН АЛДЫН АЛА БАҒАЛАУ НӘТИЖЕЛЕРІН ТАЛДАУ

[1-2]Қ.Г. Сатенов, [1-4]Е.М. Сүлеймен

[1]ҚМГ Инжиниринг ЖШС, Астана қ., Қазақстан,
[2]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Ш.Уәлиханов атындағы Көкшетау Университеті, ЯМР Спектроскопия зертханасы, Қазақстан,
[4] Қолданбалы Химия Институты ЖШС, Астана, Қазақстан,
e-mail: syerlan75@yandex.kz

Жасыл энергетика дәуірінде және жаңартылатын энергия көздеріне көшу жағдайында көптеген елдердің үкіметтері мен ірі мұнай-газ корпорациялары әлемдік экономиканың көмірсутектерге деген сұранысындағы жаһандық үрдістерді болжауға ерекше назар аударады. Мұндай болжау өз болашағын дамыту стратегиясын айқындаудың басты бағыты болып табылады.

Табиғи газ - әлемдік энергетикада және отын теңгерімі бойынша халықаралық қатынастарда шешуші рөл атқарады.

Қазақстан Республикасының газ саласы елдің экономикалық және әлеуметтік өркендеуінің негізі болып табылады. Алайда оның тиімді дамуын бірқатар факторлар тежейді: газ қорларын ұлғайту жобаларына инвестициялардың төмен тартымдылығы, газ тасымалдау инфрақұрылымының тозуы және ішкі нарықтағы баға белгілеудің өзіндік құнды жабу талаптарына сәйкес келмеуі.

Түйін сөздер: сұйытылған көмірсутек газдары, сұйық көмірсутектер (СК), газды кешенді дайындау қондырғысы, газ өңдеу зауыты, ұңғыма сағасындағы қысымды төмендету (ҰҚТ), кен орындарын игеруді талдау, күрделі шығындарды бағалау.

ANALYZING THE RESULTS OF THE PRELIMINARY FEASIBILITY STUDY FOR THE CONSTRUCTION OF A GAS PROCESSING PLANT AT FIELD X

[1-2]K.G. Satenov, [1-4]Ye.M. Suleimen✉

[1]LLP KMG Engineering, Astana, Kazakhstan,
[2]Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,
[3]Sh.Ualikhanov Kokshetau University, Laboratory of NMR Spectroscopy, Kazakhstan,
[4]LLP Institute of Applied Chemistry, Astana, Kazakhstan,
e-mail: syerlan75@yandex.kz

In the era of rapid development of “green” energy and transition to renewable energy sources, governments of many countries and major oil and gas corporations pay particular attention to forecasting global trends in hydrocarbon consumption by the world economy. This forecasting serves as a key guide in defining the strategy for their future development.

Natural gas plays a crucial role in the global energy sector and in international relations regarding the fuel balance.

The gas industry is a foundation of Kazakhstan’s economic and social prosperity. However, its effective development is constrained by several factors, including low investment attractiveness of projects to increase gas reserves, critical wear of gas transportation infrastructure, and a pricing system in the domestic market that does not meet the conditions for break-even gas supply.

Keywords: liquefied hydrocarbon gases, liquid hydrocarbons (LH), complex gas treatment unit, gas processing plant, WHP (wellhead pressure reduction), field development analysis, capital cost assessment.

Введение. Основная цель проекта строительства ГПЗ - производство товарного газа для казахстанских потребителей и повышение уровня надежности газоснабжения из собственных источников. Статья посвящена анализу и предварительной оценке целесообразности строительства ГПЗ, включая скрининг-оценку технологических установок с расчетом производства продуктов переработки газа, а также обобщению и систематизации данных по различным вариантам разработки месторождения Х.

По своей структуре добываемый газ в Республике Казахстан в основном является попутным нефтяным газом.

Более 75 % добычи газа в Казахстане обеспечивают проекты Карачаганак, Кашаган и Тенгиз [1-6].

Казахстан занимает 22 место в мире и 3 место среди стран СНГ после России и Туркменистана по запасам газа. Утвержденные извлекаемые запасы составляют 3,8 трлн м3, в том числе попутного газа - 2,2 трлн м^3, свободного газа - 1,6 трлн м^3.

Согласно прогнозному балансу газа к 2030 году объем добычи сырого газа составит 94,1 млрд м^3, производство товарного газа для реализации на уровне 36,5 млрд м^3 [7].

С развитием экономики Казахстана потребность внутреннего рынка в газе постоянно растет. Помимо обеспечения газом возрастающего количества новых потребителей существует необходимость газообеспечения проектов электроэнергии, новых инвестиционных проектов в сфере нефтегазохимии и перевода промышлен-

ных предприятий на газ.

Возможности расширения мощностей по газу включают в себя использование новых скважин и внутрипромысловых трубопроводов, модификацию установок на месторождениях, ингибиторная защита оборудования от гидратообразования, строительство новых установок комплексной подготовки газа (УКПГ), а также экспортные трубопроводы с целевой готовностью к вводу в эксплуатацию [8-9].

Материалы и методы. Целью исследования является предварительная оценка целесообразности строительства нового ГПЗ на месторождении Х.

Задачи:

1. Оценка различных вариантов разработки месторождения Х;

2. Скрининг-оценка технологических установок ГПЗ с выходом продуктов переработки газа;

3. Оценка капитальных и операционных затрат;

4. Оценка экономической эффективности вариантов строительства ГПЗ.

Для расчета показателей были выбраны 5 вариантов разработки месторождения Х, во всех вариантах строительство и ввод новых объектов ГПЗ предусматривается в четвёртом десятилетии XXI века, за исключением варианта С0, который помимо ГПЗ предусматривает строительство и ввод компрессора закачки газа:

- Вариант А0;
- Вариант А1;
- Вариант В0;
- Вариант В1;
- Вариант С0.

Расчет вариантов дальнейшего освоения месторождения Х с реализацией проекта строительства ГПЗ производился на ПО «INTERSECT».

Обсуждение и результаты. Как показали расчеты за контрактный период накопленная добыча УВ по всем вариантам приблизительно на одном уровне, небольшой рост наблюдается в вариантах В0, В1 и С0, что связано с более ранним вводом проекта СУД.

Наибольший прирост накопленной добычи ЖУ наблюдается в вариантах А1, В1, С0, при этом вариант С0 показал наибольший прирост (+ 24 млн. т) (Табл. 1).

Таблица 1 - Показатели вариантов разработки

Вариант	Накопленная добыча ЖУ (млн. тонн)		Прирост (+/-)		Коэф. извлеч. (д.ед.)	Добыча газа (млрд. м3)		Прирост (+/-)	
	Контракт период	Постконтр. период	Контракт период	Постконтр. период		Контракт период	Постконтр. период	Контракт период	Постконтр. период
Базовый вариант:	165,8	290,7			0,315	476,7	1603,9		
Вариант А0	165	261,8	-0,7	-29	0,298	484,6	1303	8	-301
Вариант А1	165	308,9	-0,7	18,2	0,326	484,6	1812,6	8	208,7
Вариант В0	169,6	266,9	3,8	-23,8	0,301	497,1	1329,9	20,4	-274
Вариант В1	169,6	312,1	3,8	21,4	0,328	497,1	1829,3	20,4	225,4
Вариант С0	169,6	314,8	3,8	24	0,329	497,1	1917,7	20,4	313,8

Варианты А0 и А1

Вариант А0 - предусматривает ввод ГПЗ в контрактный период, реализация проекта СУД в постконтрактный период.

Варианты B0 и B1

Вариант B0, предусматривает ввод ГПЗ и реализация проекта СУД в контрактный период.

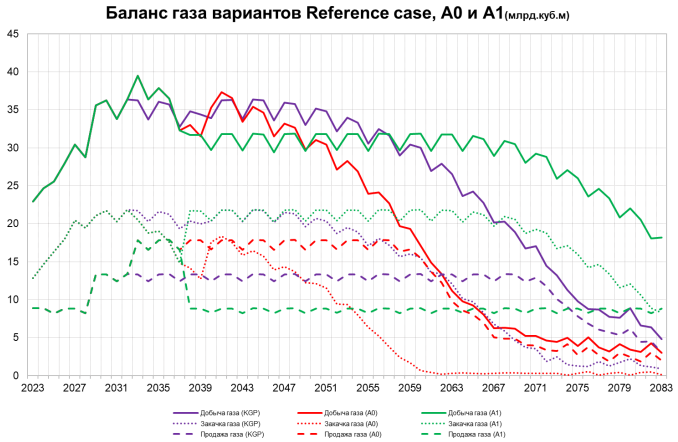


Рис.1 - Сравнение баланса газа варианты A0 и A1: добыча, закачка и поставка

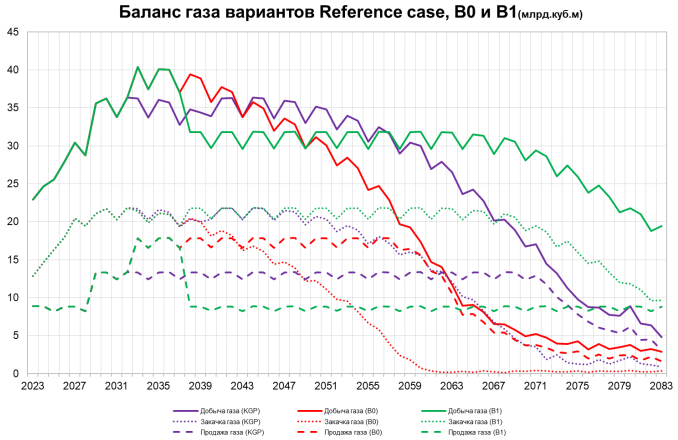


Рис.2 - Сравнение баланса газа варианты B0 и B1: добыча, закачка и поставка

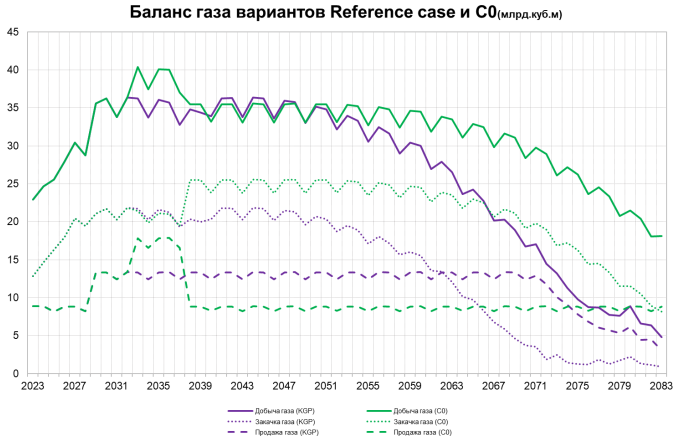


Рис.3 - Сравнение баланса газа вариант C0: добыча, закачка и поставка

Вариант С0

Вариант С0, предусматривает ввод ГПЗ и реализация проекта СУД в контрактный период и ввод компрессора закачки газа в постконтрактный период.

На основе полученных результатов сделаны выводы, что без реализации проекта СУД достичь необходимых показателей добычи не представляется возможным.

Технология подготовки и переработки газа и ЖУ

Для оценки выхода продуктов переработки газа были приняты следующие входные данные (табл.2.):

Таблица 2 - Расход и параметры сырьевого газа

Наименование потока	Сырьевой газ
Пар/Фазовая фракция [Моль/ Основа]	0,9999
Температура [C]	30
Давление [бар]	70
Молярный расход [кмоль/ч]	2,19E+04
Массовый расход [т/д]	1,09E+04

В объемном эквиваленте расход сырьевого газа равен 12,9 млн. ст. $м^3$/сутки.

Таблица 3 - Состав сырьевого газа

Компоненты	Мольная доля	Компоненты	Мольная доля
H2O	0,001	p-Ксилол	0,0000
H2S	0,042	o-Ксилол	0,0000
CO2	0,0557	C9	0,0001
Азот	0,0053	C10	0,0001
Метан	0,7983	C11	0,0000
Этан	0,0549	C12	0,0000
Пропан	0,0246	C13	0,0000
i-Бутан	0,0036	C14	0,0000
n-Бутан	0,0068	C15-1*	0,0000
i-Пентан	0,0021	C18-1*	0,0000
n-Пентан	0,0019	C26-1*	0,0000
C6_1*	0,0016	M-Меркаптан	0,0003
Мциклопентан	0,0001	E-Меркаптан	0,0002
Benzene	0,0001	2C3 Меркаптан	0,0001
Cyclohexane	0,0001	nPMercaptan	0,0000
C7_1*	0,0006	t-B-Меркаптан	0,0000

Мциклогексан	0,0001	nBМеркаптан	0,0000
Толуол	0,0001	1Пентантиол	0,0000
C8_1*	0,0002	COS	0,0001
E-Бензол	0,0000	Итого	1,0000

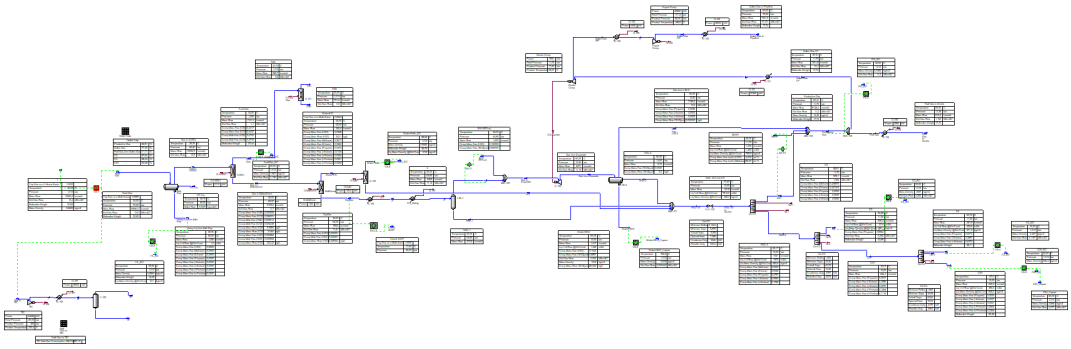


Рис.4 - Выкопировка схемы из ПО UniSim Design 492 нового ГПЗ

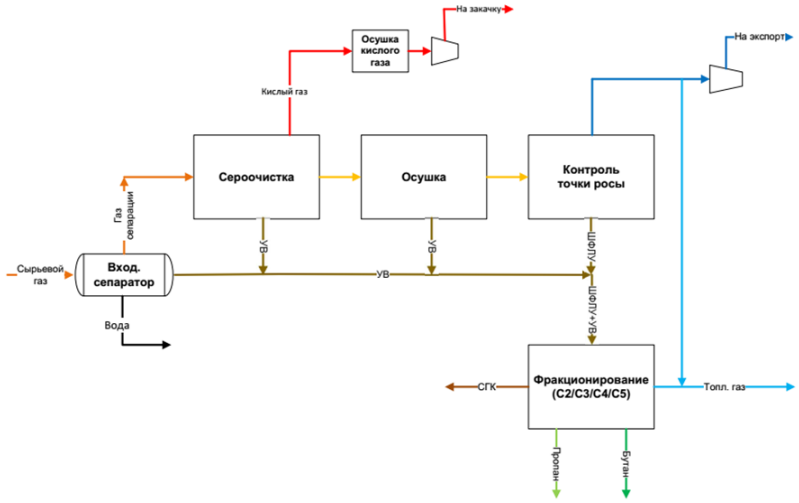


Рис.5 - Блок-схема ГПЗ

Для расчета выхода продуктов переработки новый ГПЗ был смоделирован в лицензионном ПО UniSim Design согласно блок-схеме по газовой части (см. рис.4).

Поскольку на новый ГПЗ не предполагается поступление ЖУ и ШФЛУ, технологические линии подготовки ЖУ ограничились моделированием только Установки фракционирования ШФЛУ и УВ, выделенных из газа в процессе его подготовки. Предполагается, что стабильный газовый конденсат (СГК, фракция $C_{5+выше}$) с давлением паров по Рейду в 91,2 кПа будет направляться сразу на смешение с товарной нефтью на магистральный нефтепровод, в ходе которого давление паров общей товарной нефти будет соответствовать требованиям СТ РК 1347-2005. Следует отметить, что давление паров СГК соответствует группе 2 СТ РК 2188-2012 «Конденсат газовый стабильный. Технические условия», что дает возможность ее раздельной реализации при наличии соответствующего рынка.

Перечень основных установок, включая

буллиты, налив СУГ и ЖД пути

Спроектированная модель ГПЗ состоит из нескольких установок по подготовке газа и ЖУ. Сырьевой газ входит во входной сепаратор, где происходит разделение на газ, углеводороды и воду. Далее газ сепарации идет на сероочистку, осушку и контроль точки росы, где далее газ идет на экспорт. ЖУ вместе с ШФЛУ с установки контроля точки росы идут на установку фракционирования, которая состоит из колонн деэтанизации, депропанизации и дебутанизации, продуктами которого являются топливный газ, стабильный газовый конденсат и СУГ.

Список основного оборудования и установок указано в Таблица 4.

Ниже дается краткое описание процессов переработки, принятые допущения при моделировании и полученные наблюдения:

1. Абсорбер AGRU (установка очистки кислых газов) смоделирован, как простой делитель компонентов, концентрация сероводорода и меркаптанов в очищенном газе принята согласно действующему СТ РК 1666-2007. Очистка от сернистых соединений предполагается с использованием UCARSOL-940 или Sulfinol.

2. Осушка газа на GDU (установка осушки газа) подразумевается молекулярными ситами, т.к. необходимо достичь глубокой депрессии по влагосодержанию. Предполагается, что сита будут установлены в 2 слоя: 1-й - опорный из силикагеля, он будет одновременно с предварительной осушкой от влаги доочищать газ от меркаптанов; 2-й слой молекулярных сит предназначен только для осушки газа от влаги, подбор 2-го слоя необходимо будет изучить на последующей стадии проектирования. Несмотря на глубокую степень осушки газа от влаги, когда остаточное содержание воды в осушенном газе, согласно модели, составляет ок.1 мг/м^3, образование гидратов II типа прогнозируется уже при минус 46,8 ºС из-за наличия тяжелых УВ, что приведет к образованию гидратов на линиях и оборудовании на следующей ниже по потоку Установке точки росы по УВ.

3. Установка точки росы по УВ смоделирована подобно схеме, принятой при строительстве УКПНГ. Осушенный газ предварительно охлаждается в 2-х теплообменниках «газ/газ» и «газ/ШФЛУ», сепарируется в первом низкотемпературном сепараторе (НТС), затем в поток газа вводится 90 % масс. раствор этиленгликоля для предотвращения образования гидратов, далее 90 % газа подается в турбодетандер (ТД), остальные 10% проходят через клапан Дж.-Томпсона (Д-Т). После ТД и клапана Д-Т газ сепарируется во 2-м НТС.

4. На Установке фракционирования ШФЛУ проходит поочередно три колонны: деэтанизации, депропанизации и дебутанизации, где из потока извлекаются, соответственно, этан, пропан и бутан. Чистота пропана по массе - 97,6 %, бутанов - 98,1 %. Товарными продуктами установки являются пропан, бутан и полустабильный газовый конденсат (ГК). Стоит отметить, что давление насыщенных паров (ДНП) ГК, согласно модели, составляет 1,2 бар, что является высоким показателем, из-за высокого содержания пентанов. Но после смешения с товарной нефтью из ТЛ ЖУ, ДНП нефти составило 0,67 бар, что соответствует требованиям СТ РК.

Таблица 4 - Список оборудования и установок на ГПЗ

№	Оборудование/установка	Количество
1	Входной сепаратор	1
Технологическая Линия подготовки газа		
2	Установка сероочистки	1
3	Установка осушки газа	1

4	Теплообменник	6
5	Низкотемпературный сепаратор	2
6	Турбодетандер	1
7	Миксер	3
8	Установка осушки кислого газа	1
9	Ре-компрессор кислого газа	1
10	Экспортный компрессор	1
Технологическая Линия Подготовки ЖУ		
11	Колонна деэтанизации	1
12	Емкость орошения колонны деэтанизации	1
13	Шлемовый конденсатор колонны деэтанизации	1
14	Колонна депропанизации	1
15	Емкость орошения колонны депропанизации	1
16	Шлемовый конденсатор колонны депропанизации	1
17	Колонна дебутанизации	1
18	Емкость орошения колонны дебутанизации	1
19	Шлемовый конденсатор колонны дебутанизации	1

Также, строительство ГПЗ предусматривает строительство терминала хранения и отгрузки СУГ.

Оценка капитальных затрат

Оценка капитальных затрат на строительство ГПЗ была проведена в программном комплексе Questor.

В качестве Базового варианта были приняты расчеты затрат недропользователя.

Описание вариантов расчета капитальных затрат:

- **базовый вариант** - текущие плановые затраты недропользователя;

- **вариант A0/A1** - строительство ГПЗ (контрактный период);

- **вариант B0/B1** - строительство ГПЗ+проект СУД (контрактный период);

- **вариант C0** - строительство ГПЗ+проект СУД (контрактный период)+ компрессор закачки сырого газа (постконтрактный период).

Точность оценки капитальных затрат (CAPEX – capital expenditure) в рамках начального этапа изучения должна соответствовать Классу 5 точности, в соотвествии классификации AACE (Association for the Advancement of Cost Engineering).

Точность оценки Класса 5 по классификации AACE подразумевает оценку проекта на начальном этапе скрининг-изучения и допускает погрешность в следующих диапазонах, в зависимости от сложности проекта [10]:

- верхний диапазон: +30 % ÷ + 100 %;

- нижний диапазон: -20 % ÷ -50 %.

Учитывая требования AACE, в расчетах капитальных затрат по всем вариантам приняты допущения на непредвиденные расходы на уровне 35 % от прямых затрат.

Также при расчетах затрат были учтены затраты на логистику, в процентном соотношении от стоимости оборудования и материалов:

- оборудование и материалы - 14 %;

- трубная продукция - 34 %.

В расчетах были приняты допущения по факторам продуктивности при производстве строительно-монтажных работ в зависимости от дисциплины, аналогично методике оценки капитальных затрат применяемой недропользователем. Ниже в таблице 5 представлены коэфициенты продуктивности и ставки за человеко-час.

Таблица 5 - Коэффициенты продуктивности ставки

Вид работ	Региональный фактор продуктивности	Ставка за человеко-час, $
Подготовка площадки	3,5	37
Строительные работы		
Планировка	3,5	46
Фундаменты	4	46
Дороги	3,5	46
Здания	3,1	46
Модульное оборудование	3,1	43
Монтаж оборудования	3,3	43
Монтаж резервуаров	3,3	43
Металлоконструкции	4,1	47
Трубопроводы	5	46
Электроснабжение	3,5	35
Автоматика	3,8	35
Другие	4,1	43

Затраты также включают строительство железнодорожного терминала для хранения и налива СУГ.

В вариантах со строительством новых ГПЗ, предусматривается строительство дополнительной нитки газопровода, для транспортировки товарного газа до точки врезки в магистральную газотранспортную систему.

Для каждого варианта предусматриваются затраты на строительство дополнительных мощностей по генерации электроэнергии, при этом генерация электроэнергии будет также обеспечивать работу компрессорного оборудования технологических установок с электрическими приводами, с целью сокращения источников выбросов парниковых газов.

Продолжительность строительства и распределение затрат в процентном соотношении при реализации проектов представлены в таблице 6.

Ниже в таблице 7 представлены результаты расчета капитальных затрат по вариантам строительства ГПЗ и компрессора закачки сырого газа.

Таблица 6 - Продолжительность строительства и распределение затрат

Наименование проекта	1 год	2 год	3 год	4 год

ГПЗ	10 %	40 %	40 %	10 %
Компрессор закачки сырого газа	20 %	60 %	20 %	0 %

Таблица 7 - Капитальные затраты для строительства ГПЗ

Наименование затрат	Всего, тыс.$	Оборудование	Материалы	Изготовление	Строительство	Проектирование	Управление проектом	Страхование и сертификация	Непредвиденные расходы
УКПГ	1 843 657	289 747	185 187	91 463	650 161	87 157	48 435	13 522	477 985
Терминал хранения и отгрузки СУГ	142 049	6 825	7 004	1 507	66 384	7 843	4 198	938	47 350
Подводящие и отводящие трубопроводы	271 162	0	131 978	0	52 226	6 734	7 934	1989	70 301
Инфраструктура	26 557	0	16 506	0	0	1 307	1 664	195	6 885
Итого по варианту	2 283 425	296 572	340 675	92 970	768 771	103 041	62 231	16 644	602 521

При расчете капитальных затрат по каждому варианту учитывались затраты на модернизацию основного вращающего оборудования (компрессора, ГТС):

- Для вариантов, предусматривающих строительство ГПЗ, после 25 лет эксплуатации предусматривается замена газотурбинного привода стоимостью ~ 70 млн. $;

- Для вариантов предусматривающих строительство компрессора закачки сырого газа:

1. после 25 лет эксплуатации замену газовых турбин по 30 млн. $ для компрессора закачки сырого газа;

2. каждые 6 лет эксплуатации капитальный ремонт компрессоров по 9 млн. $ на компрессоре закачки сырого газа.

Ниже в таблице 8 отражены результаты расчета капитальных затрат по всем рассматриваемым вариантам.

Таблица 8 - Капитальные затраты по вариантам

Капитальные затраты (RT)	**Единица измерения**	**Базовый вариант**	**Вариант A0/A1**	**Вариант B0/B1**	**Вариант C0**
Затраты на бурение	$ млн.	2 321	2 321	2 321	2 321
Затраты на установку очистки жидких отходов	$ млн.	16 283	16 283	16 283	16 283
Проект СУД	$ млн.	3 312	3 312	3 881	3 881

Общие и административные расходы	$ млн.	3 847	3 847	3 847	3 847
Накладные расходы	$ млн.	551	551	551	551
Прочие капитальные вложения	$ млн.	177	177	177	177
Затраты на бурение	$ млн.	415	415	415	415
Затраты на ГПЗ-1	$ млн.	2 892	2 892	2 892	2 892
Затраты на ГПЗ-2	$ млн.		2 353	2 353	2 353
Компрессор закачки сырого газа	$ млн.				668
Общие капитальные затраты (RT)	$ млн.	29 798	32 151	32 720	33 388

Оценка эксплуатационных затрат

Оценка операционных затрат произведена в текущих ценах (real terms), и основана на расчетах проекта Анализа разработки месторождения, а также расчета затрат новых проектов в процентном соотношении от капитальных затрат:

- ежегодный OPEX проекта строительства ГПЗ принят 1,5 % от CAPEX;

- ежегодный OPEX проекта строительства компрессора закачки сырого газа принят 1,5 % от CAPEX;

- ежегодный OPEX проекта СУУД принят 0,5 % от CAPEX.

Таблица 9 - Операционные затраты по вариантам

Операционные затраты (RT)	Единица измерения	Базовый вариант	Вариант A0/A1	Вариант B0/B1	Вариант C0
OPEX Base case	$ млн.	42 212	42 212	42 675	42 675
OPEX проекта строительства ГПЗ	$ млн.		1 800	1 800	1 800
OPEX проекта СУУД	$ млн.	712	712	990	990
OPEX проекта строительства компрессора закачки сырого газа	$ млн.				461
Общие операционные затраты (RT)	$ млн.	45 310	47 110	46 398	46 859

Экономическая оценка вариантов строительства нового ГПЗ

Расчет экономического моделирования и анализа на основе инкрементного анализа. Инкрементная экономика отделяет влияние всех будущих расширений от базового профиля производства и экономики. Т.е. результат экономических расчетов - разница между реализацией проекта с учетом строительства новых заводов и базового производства.

В таблице 10 представлены результаты экономической оценки.

Таблица 10 - Результаты экономической оценки по 5 вариантам

Показатели		A0	A1	B0	B1	C0
контрактный период						
Доход от реализации	млн. долл.	96 474,37	96 474,37	98 861,57	98 861,57	98 859,73
нефть и конденсат	млн. долл.	85 830,44	85 830,44	88 212,11	88 212,11	88 212,11
газ	млн. долл.	8 357,72	8 357,72	8 363,25	8 363,25	8 361,41
СУГ	млн. долл.	2 286,21	2 286,21	2 286,21	2 286,21	2 286,21
CAPEX RT	млн. долл.	14 235,11	14 235,11	18 758,85	18 758,85	19 502,56
OPEX RT	млн. долл.	14 456,48	14 456,48	14 599,97	14 599,97	14 599,97
Налоги	млн. долл.	11 041,02	11 041,02	10 464,09	10 464,09	10 436,77
NPV проекта @ 10.68%	млн. долл.	32 035,1	32 035,1	30 622,5	30 622,5	30 425,9
NPV проекта incremental @ 10.68%	млн. долл.	-584,1	-497,9	-1 996,7	-1 996,7	-3 845,1
IRR incremental	%	-6,54 %	-4,01 %	-11,74 %	-11,74 %	-16,38 %
Постконтрактный период						
Доход от реализации	млн. долл.	110971,5	175485,75	115180,92	182774,02	183543,02
нефть и конденсат	млн. долл.	82 209,72	135738,92	87 221,97	143027,18	144092,81
газ	млн. долл.	13 829,78	20 289,73	13 546,05	20 289,74	19 993,11
СУГ	млн. долл.	14 931,99	19 457,10	14 412,90	19 457,11	19 457,11
CAPEX RT	млн. долл.	34 927,55	34 927,55	30 403,82	30 403,82	30 606,27
OPEX RT	млн. долл.	73 781,20	73 781,20	76 043,95	76 043,95	77 046,15
Налоги	млн. долл.	47 913,28	79 011,41	50 319,55	83 012,67	83 529,84
NPV проекта @ 10.68%	млн. долл.	-5 187,0	-4 691,1	-3 990,0	-3 575,9	-3 503,3
NPV проекта incremental @ 10.68%	млн. долл.	-366,9	128,9	830	1 244,1	1 316,7
Всего по проекту						
CAPEX RT	млн. долл.	49 162,7	49 162,7	49 162,7	49 162,7	50 108,8
OPEX RT	млн. долл.	88 237,7	88 237,7	90 643,9	90 643,9	91 646,1
Доход от реализации	млн. долл.	207 445,9	271 960,1	214 042,5	281 635,6	282 402,7
нефть	млн. долл.	168 040,2	221 569,4	175 434,1	231 239,3	232 304,9
газ	млн. долл.	22 187,5	28 647,5	21 909,3	28 653,0	28 354,5
СУГ	млн. долл.	17 218,2	21 743,3	16 699,1	21 743,3	21 743,3
NPV проекта @ 10.68%	млн. долл.	26 848,1	27 344,0	26 632,5	27 046,6	26 922,6

NPV проекта incremental @ 10.68%	млн. долл.	-951	-369	-1 166,6	-752,5	-2 528,4
IRR incremental	%	n/a	7,36 %	n/a	7,26 %	6,59 %

Все пять сценариев нерентабельны по инкрементным потокам, т.е. базовый сценарий.

Наилучшие результаты показывают:

- для контрактного периода: Варианты А0 и А1;

- для постконтрактного периода: Варианты А1 и В0.

Выводы. Бурение дополнительных добывающих скважин не дало необходимого прироста добычи газа.

Без реализации проекта СУД достичь необходимых показателей добычи не представляется возможным.

Все пять сценариев нерентабельны по инкрементным потокам.

Наилучшие результаты показывают:

- для контрактного периода: Варианты А0 и А1;

- для пост-контрактного периода: Варианты А1 и В0.

Продолжение поставок газа внешним потребителях в пост-контрактный период отрицательно сказывается на необходимой загрузке ГПЗ.

Прекращение поставок газа внешним потребителям по завершению контрактного периода является положительным фактором при определении наилучшего варианта.

- Вариант ГПЗ: демонстрирует улучшенные показатели по продаже газа, но с потерями по добыче жидких углеводородов (ЖУ) в размере 12,8 млн т;

- Дефицит газа: в связи с недостаточностью ресурсов газа рекомендуется рассмотреть вариант(ы) без поставок газа внешним потребителям в пост-контрактный период;

- Обратная зависимость между продажей газа и добычей ЖУ: С ростом объемов продажи газа наблюдается снижение добычи ЖУ.

Финансирование. *Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки и высшего образования Республики Казахстан (гранты № AP19679527 и BR24992761).*

Литература

1. Об утверждении Комплексного плана развития газовой отрасли Республики Казахстан на 2022 - 2026 годы. Постановление Правительства Республики Казахстан от 18 июля 2022 года № 488. URL: https://adilet.zan.kz .- Дата обращения: 13.06.2025.

2. Darmentayev S., Yessaliyeva A., Azhgliyeva A., Belanger D., Sillivan M., G. King T. Feyijimi P. Bateman. Tengiz sour gas injection project // SPE-139851-MS.-2010. -P.8-10. DOI 10.2118/139851-MS.

3. Urazgaliyeva G., King G.R., Darmentaev S., Tursinbayeva D., Dunger D., Howery R., Zalan T., Lindsell K., Iskakov E., Turymova A., Jenkins S., Walker C., Bateman P., Aitzhanov A. Tengiz sour gas injection project // SPE-172284-MS. -2014. - P.2-7. DOI 10.2118/172284-MS.

4. Kamispayev A., Gazizova E., Skopich A., Munbayev T., Neubauer E., Clarke J. Successful application of scale squeeze inhibitor in Tengiz field // SPE-198352-MS.-2019. DOI 10.2118/198352-MS.

5. Bealessio B. A., Blanquez A. N. A., Mendes N. John., Sande A. V., Hascakir B. A review of enhanced oil recovery (EOR) methods applied in Kazakhstan // Petroleum - 2021. - Vol.7 (1). - P.1-9. DOI 10.1016/j.petlm.2020.03.003.

6. Kassenov A., Kaliyev B. Characterization of Gas Reinjection at Karachaganak field, Kazakhstan // SPE-182589-MS.-2016. DOI 10.2118/182589-MS.

7. Об утверждении Комплексного плана по развитию крупнейших нефтегазовых и нефтегазохимических проектов на 2023 – 2027 годы. Постановление Правительства Республики Казахстан от 30 ноября 2023 года № 1062. URL: https://adilet.zan.kz - Дата обращения: 13.06.2025.8. Satenov K. G., Tkenbayev S. M., Tashenov Z. A., Akhmetov Z. E., Kadyrov S. R. Processes of methanol regeneration from water-methanol solutions in the oil and gas industry // Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry. – 2024. - Vol.6 (1). - P.99-109. DOI 10.54859/kjogi108691.

9. Akhmetzhan S., Ashimova Y., Muhambetkalieva S., Sabirov B. A Review of Enhanced Oil Recovery Methods Used in The Fields of Kazakhstan // Neft i Gaz. - 2024. - Vol.138 (6). - P.122-135. DOI 10.37878/2708-0080/2023-6.12.

10. AACE International Recommended Practice No.18R-97: Cost Estimate Classification System-As Applied In Engineering, Procurement, And Construction For The Process Industries. AACE International URL: https://library.aacei.org. - Дата обращения: 13.06.2025.

References

1. Ob utverzhdenii Kompleksnogo plana razvitija gazovoj otrasli Respubliki Kazahstan na 2022 - 2026 gody. Postanovlenie Pravitel’ stva Respubliki Kazahstan ot 18 ijulja 2022 goda № 488. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2200000488 .- Data obrashhenija: 13.06.2025. [in Russian]

2. Darmentayev S., Yessaliyeva A., Azhgliyeva A., Belanger D., Sillivan M., G. King T. Feyijimi P. Bateman. Tengiz sour gas injection project // SPE-139851-MS.-2010. -P.8-10. DOI 10.2118/139851-MS.

3. Urazgaliyeva G., King G.R., Darmentaev S., Tursinbayeva D., Dunger D., Howery R., Zalan T., Lindsell K., Iskakov E., Turymova A., Jenkins S., Walker C., Bateman P., Aitzhanov A. Tengiz sour gas injection project // SPE-172284-MS. -2014. - P.2-7. DOI 10.2118/172284-MS.

4. Kamispayev A., Gazizova E., Skopich A., Munbayev T., Neubauer E., Clarke J. Successful application of scale squeeze inhibitor in Tengiz field // SPE-198352-MS.-2019. DOI 10.2118/198352-MS.

5. Bealessio B. A., Blanquez A. N. A., Mendes N. John., Sande A. V., Hascakir B. A review of enhanced oil recovery (EOR) methods applied in Kazakhstan // Petroleum - 2021. - Vol.7 (1). - P.1-9. DOI 10.1016/j.petlm.2020.03.003.

6. Kassenov A., Kaliyev B. Characterization of Gas Reinjection at Karachaganak field, Kazakhstan // SPE-182589-MS.-2016. DOI 10.2118/182589-MS.

7. Ob utverzhdenii Kompleksnogo plana po razvitiju krupnejshih neftegazovyh i neftegazohimicheskih proektov na 2023 – 2027 gody. Postanovlenie Pravitel’ stva Respubliki Kazahstan ot 30 nojabrja 2023 goda № 1062. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300001062 - Data obrashhenija: 13.06.2025. [in Russian]

8. Satenov K. G., Tkenbayev S. M., Tashenov Z. A., Akhmetov Z. E., Kadyrov S. R. Processes of methanol regeneration from water-methanol solutions in the oil and gas industry // Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry. – 2024. - Vol.6 (1). - P.99-109. DOI 10.54859/kjogi108691.

9. Akhmetzhan S., Ashimova Y., Muhambetkalieva S., Sabirov B. A Review of Enhanced Oil Recovery Methods Used in The Fields of Kazakhstan // Neft i Gaz. - 2024. - Vol.138 (6). - P.122-135. DOI 10.37878/2708-0080/2023-6.12.

10. AACE International Recommended Practice No.18R-97: Cost Estimate Classification System-As Applied In Engineering, Procurement, And Construction For The Process Industries. AACE International URL: https://library.aacei.org. - Дата обращения: 13.06.2025.

Сведения об авторах

Сатенов К. Г. - к.х.н., и.о. ассоциированного профессора, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: satenoff@mail.ru;

Сулеймен Е.М. - PhD, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: syerlan75@yandex.kz.

Information about the authors

Satenov K. G. - Candidate of Chemical Sciences, Acting Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: satenoff@mail.ru;

Suleimen Ye.M. - Ph.D., Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business named after. K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: syerlan75@yandex.kz.

МРНТИ 61.01.81 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-960**

АНАЛИЗ, РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ КОРМОВ КУР

Е.А. Цешковская, Н.К. Цой✉, А.Т. Оралова, Д.А. Коробов

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

✉*Корреспондент-автор: zoinat@mail.ru*

В настоящем исследовании проведены комплексные химико-технологические анализы комбикормов для кур, предназначенных для бройлеров и племенных птиц, с целью оптимизации их состава посредством введения специализированных пищевых добавок. Анализы содержания сырого протеина (от 12,6% до 22,4%), кальция (0,8-0,92% для бройлерских кормов, до 3,16% для племенных) и фосфора (от 0,30% до 0,42%) выявило отклонения от расчётных нормативов. На основании полученных данных были рассчитаны оптимальные дозировки добавок: монокальцийфосфат – 0,20-0,38% для бройлерских кормов и 0-0,52% для племенных, трикальцийфосфат – 0,09-0,29 % для бройлерских, 0,14-0,77% для племенных, лизин и треонин – 0,42-0,63% для бройлерских, 0,07-0,49% для племенных, а также метионин – 0,30-0,48% для всех групп кормов. Применение оптимизированных рецептур способствовало увеличению массы цыплят бройлеров на 7-11 % в разные периоды выращивания (например, с 220 г до 245 г в период 0-5 дней, с 660 г до 705 г в период 6-18 дней, с 1650 г до 1800 г в период 19-28 дней и с 2750 г до 2950 г в период 29-42 дней) и снижению общего уровня падежа с 4,37 % до 3,4 % (относительное снижение в среднем на 22,6 %). Полученные результаты подтверждают, что точная корректировка состава комбикормов с использованием оптимизированных дозировок пищевых добавок способствует ускорению роста, улучшению продуктивности и снижению экономических потерь, что имеет важное практическое значение для повышения эффективности коммерческого птицеводства.

Ключевые слова: химический анализ, сырой протеин, кальций, фосфор, кормовые добавки, лизин, треонин, метионин, монокальцийфосфат, трикальцийфосфат, бройлеры, куры, птицеводство.

ТАУЫҚ ЖЕМІНЕ АРНАЛҒАН ТАҒАМДЫҚ ҚОСПАЛАРДЫҢ КОМПОНЕНТТІК ҚҰРАМЫН ТАЛДАУ, ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Е.А. Цешковская, Н.К. Цой✉, А.Т.Оралова, Д.А. Коробов

«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КЕАҚ, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: zoinat@mail.ru

Осы зерттеуде мамандандырылған тағамдық қоспаларды енгізу арқылы олардың құрамын оңтайландыру мақсатында бройлерлер мен асыл тұқымды құстарға арналған тауықтарға арналған құрама жемге кешенді химиялық-технологиялық талдаулар жүргізілді. Шикі ақуыздың (12,6%-дан 22,4%-ға дейін), кальцийдің (бройлерлік жем үшін 0,8-0,92%, асыл тұқымды жем үшін 3,16% - ға дейін) және фосфордың (0,30%-дан 0,42%-ға дейін) құрамын талдау есеп айырысу нормативтерінен ауытқуларды анықтады. Алынған мәліметтер негізінде қоспалардың оңтайлы дозалары есептелді: монокальций фосфаты – бройлерлік жем үшін 0,20-0,38% және асыл тұқымды мал үшін 0-0,52%, трикальций фосфаты – бройлерлер үшін 0,09-0,29%, асыл тұқымды мал үшін 0,14-0,77%, лизин және треонин – бройлерлер үшін 0,42-0,63%, 0,07-асыл тұқымды мал үшін 0,49% , сондай-ақ метионин-барлық жем топтары үшін 0,30-0,48%. Оңтайландырылған рецепттерді қолдану бройлер тауықтарының массасын өсірудің әртүрлі кезеңдерінде 7-11% - ға арттыруға ықпал етті (мысалы, 0-5 күн кезеңінде 220 г-нан 245 г-ға дейін, 6-18 күн кезеңінде 660 г-дан 705 г-ға дейін, 1650 г-нан 1800 г-ға дейін 19-28 күн аралығында және 2750 г-нан 2950 г-ға дейін 29-42 және істің жалпы деңгейін 4,37%-дан 3,4%-ға дейін төмендету (орта есеппен 22,6%-ға салыстырмалы төмендеу). Нәтижелер тағамдық қоспалардың оңтайландырылған дозаларын пайдалана отырып, құрама жем

құрамын дәл реттеу өсуді жеделдетуге, өнімділікті жақсартуға және экономикалық шығындарды азайтуға ықпал ететінін растайды, бұл коммерциялық құс шаруашылығының тиімділігін арттыру үшін маңызды практикалық маңызы бар.

Түйін сөздер: химиялық талдау, шикі ақуыз, кальций, фосфор, жем қоспалары, лизин, треонин, метионин, монокальций фосфаты, трикальций фосфаты, бройлерлер, тауықтар, құс шаруашылығы.

ANALYSIS, DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE COMPONENT COMPOSITION OF FOOD ADDITIVES FOR CHICKEN FEED

Ye.A. Tseshkovskaya, N.K. Tsoy✉, A.T. Oralova, D.A. Korobov

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: zoinat@mail.ru

This study conducted comprehensive chemical and technological analyses of compound feed for chickens intended for broilers and breeding birds with the aim of optimizing their composition through the introduction of specialized food additives. Analyses of the content of crude protein (from 12.6% to 22.4%), calcium (0.8-0.92% for broiler feed, up to 3.16% for breeding feed) and phosphorus (from 0.30% to 0.42%) revealed deviations from the calculated standards. Based on the data obtained, the optimal dosages of additives were calculated: monocalcium phosphate – 0.20-0.38% for broiler feed and 0-0.52% for breeding feed, tricalcium phosphate - 0.09-0.29% for broiler feed, 0.14-0.77% for breeding feed, lysine and threonine - 0.42-0.63% for broiler feed, 0.07-0.49% for breeding feed, and methionine - 0.30-0.48% for all feed groups. The use of optimized recipes contributed to an increase in the weight of broiler chickens by 7-11% at different stages of growth (for example, from 220 g to 245 g in the period from 0 to 5 days, from 660 g to 705 g in the period from 6 to 18 days, from 1650 g to 1800 g in the period from 19 to 28 days, and from 2750 g to 2950 g in the period from 29 to 42 days) and a decrease in the overall mortality rate from 4.37% to 3.4% (a relative decrease of 22.6% on average). The results obtained confirm that precise adjustment of the composition of compound feed using optimized doses of feed additives contributes to accelerated growth, improved productivity, and reduced economic losses, which is of great practical importance for increasing the efficiency of commercial poultry farming.

Keywords: chemical analysis, crude protein, calcium, phosphorus, feed additives, lysine, threonine, methionine, monocalcium phosphate, tricalcium phosphate, broilers, chickens, poultry farming.

Введение. Повышение спроса на высококачественную птицеводческую продукцию диктует необходимость совершенствования подходов к кормлению птицы. Ключевым моментом здесь является создание сбалансированного рациона, который удовлетворяет потребности кур в белке, кальции и фосфоре. От этого напрямую зависят такие важные показатели, как темпы развития, яйценоскость и общее благополучие птицы.

Научные исследования неоднократно демонстрировали, что даже малейшие нарушения рецептур комбикормов могут негативно сказаться на производительности птицы, привести к патологиям в развитии опорно-двигательного аппарата в целом и костей, мускулатуры в частности, и, вследствие этого, повысить долю падежа [1, 2]. Такая актуальность проблемы обусловлена как стремлением ученых к созданию новых, более совершенных кормовых добавок, так и необходимостью для сельхозпроизводителей найти решения, которые одновременно были бы экономически выгодными и не наносили вреда окружающей среде [3].

В центре внимания данной работы находятся комбикорма, предназначенные для выращивания цыплят-бройлеров и племенных особей. Анализировался их состав, с особым акцентом на компоненты кормовых добавок, таких как аминокислоты (лизин, треонин, метионин) и минеральные вещества (монокальцийфосфат и

трикальцийфосфат), которые играют ключевую роль в оптимизации состава кормовой смеси. Цель исследования – изучить химический состав и на основе анализов разработать оптимальный состав кормовых добавок для доведения сырого протеина, кальция и фосфора в комбикорме до целевых значений, что приведет к улучшению роста, здоровья и продуктивности птицы.

В рамках реализации данной цели были определены следующие ключевые задачи:

1. проанализировать состав кормов для птицы, чтобы определить в них начальную концентрацию ключевых питательных и минеральных компонентов: сырого протеина, кальция и фосфора;

2. рассчитать оптимальные пропорции и количества добавок аминокислот и минералов для каждого вида корма (КБ и ПК), чтобы обеспечить соответствие уровня белка, кальция и фосфора заданным нормам;

3. разработать компонентный состав кормовых добавок, который будет соответствовать возрастным особенностям и потребностям бройлеров на протяжении всего периода роста, а также специфическим требованиям кур-несушек в зависимости от их продуктивности;

4. изучить, как оптимизированные составы кормов сказываются на росте, производительности и падеже птицы.

Методика исследования заключается в использовании химико-технологического анализа, с опорой на титриметрию, спектрофотометрию и статистическую обработку полученных в ходе экспериментальных наблюдений результатов [4].

Гипотеза исследования состоит в том, что оптимизация состава комбикормов посредством использования кормовых добавок позволит добиться точного соответствия требуемым показателям белка, кальция и фосфора. Это, в свою очередь, должно положительно сказаться на росте птиц, качестве получаемой продукции и снижении уровня падежа птиц [5, 6].

Теоретическая значимость данной работы заключается в углублении понимания влияния аминокислотных и минеральных добавок на организм птицы на уровне физиологических и метаболических процессов. Разработка экономически оправданных и приспособленных к конкретным регионам решений для повышения качества комбикормов составляет практическую значимость. Полученные данные исследования станут отправной точкой для новых научных и прикладных исследований, направленных на совершенствование кормления птицы и повышение эффективности производства комбикормов.

Материалы и методы. Для проведения исследования были отобраны образцы комбикормов, предназначенных для кур-несушек и бройлеров. Комбикорм, являясь гранулированным продуктом, представляет собой тщательно подобранную смесь, включающую в себя растительные и минеральные ингредиенты, рассчитанные на обеспечение полноценного развития птицы. В его состав входят ключевые злаковые культуры, такие как пшеница, ячмень и отруби, разнообразные источники белка растительного происхождения, такие как соевый и подсолнечный шрот, а также растительные жиры.

Чтобы гарантировать точность анализа состава комбикормов, были взяты репрезентативные образцы, которые были тщательно перемешаны и поделены на равные доли для проведения объективного исследования, соответствующего требованиям государственных стандартов и нормативных актов [7].

В ходе исследования также внедряли добавки, направленные на совершенствование состава кормов:

1. Аминокислотные добавки:

- L-лизин монохлоргидрат – содержание сырого протеина 66-70%, анализировалось в ходе исследования в соответствии с [8];

- L-треонин – содержание сырого протеина в исследуемых образцах 72-76%; содержание сырого протеина в лизине и треонине анализировалось в соответствии с [8];

- DL-метионин – чистота исследуемых образцов 97-99%; анализ проводился по [9].

2. Минеральные добавки:

- монокальцийфосфат ($Ca(H_2PO_4)\cdot H_2O$) - содержание кальция 14,5-15%, фосфора 22-22,5% анализировалось в соответствии с [10, 11];

- трикальцийфосфат ($Ca_3(PO_4)_2$) – содержание кальция 30,5-31,5%, фосфора 11,5-12,5%; содержание кальция и фосфора в фосфатах анализировалось в соответствии с [10, 11].

Чтобы точно определить состав корма с помощью химического анализа и получить воспроизводимые результаты, применялось следующее оборудование:

1. для проведения анализа содержания сырого протеина - термореактор Velp Scientifica DK 20, предназначенный для минерализации проб по методике Кьельдаля. Этот агрегат гарантирует равномерное и точное повышение температуры проб;

2. дистиллятор Beger SDU-300 - для количественного определения сырого протеина в образцах, применяя метод Кьельдаля. Он автоматизирует процесс дистилляции аммиака, образующегося при минерализации и каталитическом разложении органического азота, что позволяет затем точно определить концентрацию азота в пробе;

3. для количественного измерения фосфора - спектрофотометр ЭКРОС ПЭ-5400ВИ, работающий в видимом диапазоне спектра;

4. муфельная печь - для высушивания образцов комбикормов, что необходимо для определения их зольного содержания и последующего расчета количеств кальция и фосфора. Эта техника анализа может быть применена при нагревании до 525°C с точностью ±25°C.

Применение вышеописанного оборудования гарантирует унификацию методик и воспроизводимость полученных данных, что является ключевым фактором для проведения надежных исследований в сфере производства кормов.

Количественное определение содержание сырого протеина в составе кормовых смесей

Брали образец комбикорма массой 1 г. Для его минерализации использовалась колба Кьельдаля, предварительно очищенная и высушенная. В колбу вносили 3,5 г сульфата калия, а также по 0,1 г сульфата меди и селена. После этого аккуратно добавляли 10 мл концентрированной серной кислоты, тщательно перемешивая содержимое колбы круговыми движениями для равномерного пропитывания образца кислотой.

Для проведения минерализации колбу устанавливали в нагреватель. Чтобы минимизировать выпаривание и расход реагента, горлышко колбы закрывали стеклянной воронкой, исключая чрезмерный контакт с окружающим воздухом и избыточное улетучивание кислоты. Нагревание осуществляли плавно, избегая резкого повышения температуры, которое могло привести к образованию пены. В процессе минерализации содержимое колбы периодически перемешивали вращательными движениями, а затем, по мере нагрева, увеличивали температуру нагревания до начала кипения жидкости.

После приобретения реакционной массой желтого или светло-зеленого оттенка, процесс минерализации продлился еще полчаса. Затем содержимое колбы охлаждали и перемещали в отгонный сосуд, а колбу Кьельдаля тщательно промывали дистиллированной водой (по 20-30 мл за каждый цикл) трижды. Общий объём раствора был доводили 200-250 мл.

Для проведения последующего этапа анализа в приемную колбу вводили 25-30 мл 4% раствора борной кислоты и, для визуализации процесса, добавляли небольшое количество (5-10 капель) индикатора (приготовляемого из трёх объёмов 0,1% спиртового раствора бромкреозолового зелёного и одного объёма 0,1% спиртового раствора метилового красного).

В дистилляционную установку была вставлена колба с минерализатом. В вводился 33% раствор гидроксида натрия, дозировка которого рассчитывалась исходя из количества использованной для минерализации серной кислоты (на 1 мл серной кислоты по 3,5 мл щёлочи). Для избежания нежелательного смешения щелочи с минерализованным раствором, вливание осуществлялось вдоль стенок колбы. После этого система подвергалась нагреванию и кипению до достижения равномерного состояния. Образующийся

в процессе аммиак конденсировался и конденсировался в раствор борной кислоты. Появление зеленого цвета в растворе, находящемся в приёмной колбе, сигнализировало о начале процесса дистилляции. Дистилляция считалась законченной, когда капли, собранные в процессе, переставали воздействовать на лакмусовую бумагу, не вызывая изменения ее окраски.

В приемную колбу, куда переливался дистиллят, вводили 5-10 капель индикаторной смеси, состоящей из трех равных частей 0,1% раствора бромокрезолового зеленого в спирте и одной части 0,2% раствора метилового красного, также в спиртовом растворе.

Процесс титрования проводился 0,1н раствором серной кислоты до тех пор, пока цвет раствора не изменился с зеленого на окраску, характерную для розового оттенка.

Для определения процентного соотношения азота *(X)* в исследуемом материале применялась формула 1:

$$X = \frac{(V_1 - V_0) \times K \times 0,0014 \times 100}{m} \quad (1)$$

где: V_1 – объем серной кислоты, пошедшей на титрование испытуемого раствора, см^3; V_0 – объем серной кислоты для титрования в контрольном опыте, см^3; K – коэффициент, учитывающий титр раствора серной кислоты с концентрацией с (1/2 H_2SO_4) = 0,05 моль/дм^3; 0,0014 – величина, представляющая массу азота, эквивалентную массе серной кислоты в 1 см^3 раствора с молярной концентрацией с (1/2 H_2SO_4) = 0,05 моль/дм^3, г/см^3; 100 – множитель для перевода результата в процентное выражение; m – анализируемой пробы, г.

Точность округления – до одного знака после запятой.

Данный метод обеспечивает точное и стабильное определение содержания азота и белка в кормовых образцах, гарантируя при этом высокую повторяемость полученных результатов [8].

Количественное определение содержания кальция и фосфора в составе кормовых смесей

В предварительно очищенный и взвешенный тигель, прошедший процесс прокаливания и охлаждения в эксикаторе, помещался образец массой 1 г, она фиксировалась с точностью до трёх знаков после запятой.

Пробу в тигле сначала помещали в муфельную печь, предварительно охлажденную до комнатной температуры, и нагревали, плавно увеличивая температуру до тех пор, пока не возникнет дымный след. Для ускорения процесса можно использовать предварительное обугливание на плите, в песчаной бане или на горелке, однако воспламенение пробы недопустимо.

По окончании фазы прокаливания, когда образование дыма прекращалось, температуру поднимали до 525°C с погрешностью ±25°C и выдерживали пробу в печи 4-5 часов. Процесс считался завершенным, когда образующаяся зола приобретала однородную светло-серую окраску, которая иногда дополнялась розовым, зеленоватым или голубым оттенком. В случае обнаружения не полностью прогоревших частиц угля, золу увлажняли водой, вводили 1-2 мл раствора перекиси водорода (концентрация 1:9), выпаривали содержимое и подвергали повторной прокалке в течение часа при той же температуре.

Остывшую золу обрабатывали, добавляя 1 мл раствора соляной кислоты (концентрация 1:1) и 5-10 мл дистиллированной воды. После тщательного перемешивания содержимое перелили в мерную колбу вместимостью 100 мл. Оставшиеся частицы золы и воронку промывали дистиллированной водой. Затем объем раствора доводили до отметки, перемешивали и давали осадку полностью осесть. Исследование осуществлялось на взятой пробе (аликвоте) раствора, не включая осадок.

В ходе обоих исследований, направленных на определение содержания кальция и фосфора, использовали по 10 мл исходного раствора золы.

Чтобы определить количество кальция, пробы были количественно перемещены в конические колбы вместимостью 250 мл, после чего объем доводили до 100 мл с помощью дистил-

лированной воды. В раствор вводили 30 мг гидроксиламингидрохлорида и натриевого цитрата, а также 10 мл 20% раствора гидроксида калия и небольшое количество индикатора (мурексида). В процессе добавления каждого компонента раствор тщательно взбалтывали.

Для титрования применялся раствор трилона Б с концентрацией 0,01 моль/л. В качестве эталонного контроля была приготовлена контрольная смесь, состоящая из 100 мл дистиллированной воды и тех же реагентов, что и в основной пробирке, однако без исследуемого образца. Процесс титрования продолжался до момента, когда наблюдалась смена окраски раствора с интенсивного малинового на фиолетовый оттенок.

Содержание кальция в образце *(X)*, выраженное в %, определялось с помощью формулы 2:

$$X = \frac{V_2 \left(V_4 - V_3\right) \times C \times 0,040 \times 100}{V_5 \times m} \quad (2)$$

где: V_2 – исходный объем исследуемого раствора, см^3; V_3 – объем раствора трилона Б, который был использован для эталонного титрования, см^3; V_4 – объем раствора трилона Б, необходимый для титрования исследуемого раствора пробы, см^3; C – концентрация раствора трилона Б; 0,040 – величина, показывающая массу кальция, содержащуюся в 1 см^3 раствора трилона Б с молярной концентрацией 1 моль/дм^3, г; V_5 – объём исследуемого раствора, взятый для титрования, см^3; m – масса анализируемого образца, г; 100 – множитель, применяемый для пересчёта результата в проценты.

Чтобы определить содержание фосфора, 10 мл основного раствора золы помещали в пятидестимиллилитровые мерные колбы. Затем в каждую колбу вводили 5 мл азотной кислоты, разбавленной в соотношении 1:2, и 15 мл раствора-индикатора. После каждой добавки тщательно перемешивали содержимое колб и доводили общий объем до отметки, используя дистиллированную воду.

По истечении тридцатиминутного периода окрашенные растворы подвергались фотометрическому анализу. Для сравнения исследуемых образцов использовался контрольный раствор, не содержащий аликвоты пробы. Измерения производились в кюветах, имеющих толщину слоя в 10 мм, в диапазоне видимого спектра с помощью спектрофотометра, который был настроен на максимальную светопроницаемость при длине волны 440 нм.

Содержание фосфора *(X)*, выраженное в %, вычислялось с использованием формулы 3:

$$X = \frac{m_1 \times 100}{m} \quad (3)$$

где: m_1 – масса фосфора в пробе, мг; m – общая масса пробы, мг; 100 – коэффициент для пересчета полученных данных в процентное соотношение.

Данный подход обеспечивает точное определение уровня кальция и фосфора в образцах кормов с гарантированным уровнем повторяемости результатов [12, 13].

Исследование показало состав кормов для бройлеров и племенных кур, в частности, процентное содержание белка, кальция и фосфора. Результаты этого анализа систематизированы и представлены в таблице 1.

Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о несоответствии фактического состава ключевых компонентов в кормах с расчётными (целевыми) значениями.

Несмотря на то, что эти отклонения не являются критически большими, они могут оказать влияние на развитие птицы на разных этапах ее жизни (от КБ-1 до КБ-4 и от ПК-1 до ПК-4). Недостаток белка может замедлить рост мышечной массы, а нехватка кальция и фосфора - негативно сказаться на формировании скелета и нормальном протекании физиологических процессов.

Во время предкладкового и кладкового периодов (ПК-5-ПК-8), когда формируется яичная скорлупа, необходимо обеспечить птицам достаточное количество кальция, так как даже небольшое снижение его уровня может негативно сказаться на яйценоскости.

Недостаток белка и кальция в корме, предназначенном для петухов (ПК-12), может негатив-

но сказаться на их здоровье несмотря на то, что петухам кальций требуется в меньших количествах по сравнению с несушками.

Таблица 1 - Фактические количества расчетные значения и отклонения исследуемых компонентов в комбикормах для бройлеров и племенных кур, в %

Вещество Тип корма	Кальций			Фосфор			Сырой протеин		
	Фактическое количество	Расчётное значение	Отклонение	Фактическое количество	Расчётное значение	Отклонение	Фактическое количество	Расчётное значение	Отклонение
КБ-1	0,92	1	0,08	0,44	0,59	0,15	22,4	23,29	0,89
КБ-2	0,84	0,94	0,1	0,42	0,52	0,1	20,9	21,78	0,88
КБ-3	0,88	1	0,12	0,4	0,48	0,08	20,1	20,84	0,74
КБ-4	0,8	0,85	0,05	0,41	0,55	0,14	17,8	20,82	3,02
ПК-1	0,88	1	0,12	0,4	0,46	0,06	21,2	21,71	0,51
ПК-2	0,92	1	0,08	0,42	0,48	0,06	18,5	19,34	0,84
ПК-3	0,84	0,97	0,13	0,37	0,42	0,05	14,7	15,19	0,49
ПК-4	1	1,2	0,2	0,41	0,53	0,12	16,9	17	0,10
ПК-5	2,76	3	0,24	0,33	0,37	0,04	14,8	15,2	0,40
ПК-6	2,8	3,01	0,21	0,39	0,44	0,05	14,8	15,2	0,40
ПК-7	3,12	3,35	0,23	0,32	0,38	0,06	15,1	15,8	0,70
ПК-8	3,16	3,31	0,15	0,3	0,33	0,03	13,6	14	0,40
ПК-12	0,84	0,96	0,12	0,31	0,36	0,05	12,6	12,8	0,20

Корректировка содержания кальция и фосфора

Представлен расчёт необходимых добавок для корректировки состава рационов для бройлеров и племенных птиц, чтобы достичь установленных показателей. Все вычисления представлены в процентах от общей массы корма (массовая доля).

Расчёт построен на основе двух формул, где переменная *x* представляет долю монокальцийфосфата (МКФ), а *y* – долю трикальцийфосфата (ТКФ). Для определения этих значений были использованы средние данные, полученные при исследовании состава добавок:

- монокальцийфосфат (МКФ): содержание Ca: 15% (0,15), содержание P: 22,5% (0,225);

- трикальцийфосфат (ТКФ): содержание Ca: 31% (0,31), содержание P: 12% (0,12).

Для всех кормов дефицит кальция и фосфора рассчитывался по формулам 4 и 5:

$$\Delta Ca = \text{Расчетный}Ca - \text{Исходный}Ca, \quad (4)$$

$$\Delta P = \text{Расчетный}P - \text{Исходный}P. \quad (5)$$

Далее следовало построение системы уравнений:

$$0,15x + 0,31y = \Delta Ca,$$
$$0,225x + 0,12y = \Delta P.$$

Корм КБ-1:

- исходные значения: Ca = 0,92 %, P = 0,44 %;

- расчётные целевые значения: Ca = 1,04 %, P = 0,55 %;

- дефицит:

$$\Delta Ca = 1,04 - 0,92 = 0,12\%,$$
$$\Delta P = 0,55 - 0,44 = 0,11\%$$

Система:

$$0,15x + 0,31y = 0.12,$$

$$0,225x + 0,12y = 0.11.$$

Для нахождения решения системы использовался следующий подход – сначала решалось начальное уравнение:

$$x = \frac{0,12 - 0,31y}{0,15}.$$

После этого оно подставлялось во второе уравнение:

$$0.225\left(\frac{0.12 - 0.31y}{0.15}\right) + 0.12y \Longrightarrow 1.5(0.12 - 0.31y) + 0.12y = 0.11,$$
$$0.18 - 0.465y + 0.12y = 0.11 \Longrightarrow 0.18 - 0.345y = 0.11,$$
$$0.345y = 0.18 - 0.11 = 0.07 \Longrightarrow y \approx 0.2029\%(\approx 0.20\%),$$
$$x = \frac{0.12 - 0.31 \times 0.20}{0.15} = \frac{0.12 - 0.062}{0.15} = \frac{0.058}{0.15} \approx 0.3867\%(\approx 0.38\%).$$

Таким образом были определены оптимальные дозировки добавок, гарантирующие достижение заданных показателей содержания кальция и фосфора в КБ-1:

- МКФ: ~0.38 %;

- ТКФ: ~0.20 %.

Таким же образом были проведены расчёты и для всех остальных типов кормов, результаты которых представлены в таблице 2.

Расчёты, проведенные с кормами с ПК-1 по ПК-4, привели к получению точных количеств и пропорций монокальцийфосфата, трикальцийфосфата и аминокислот, необходимых для достижения заданного процента минералов и сырого протеина соответственно. Для ПК-5, где увеличение содержания кальция потребовало значительной корректировки, оптимальный состав был достигнут с помощью добавления примерно 0,77% ТКФ, что обеспечило баланс кальция и фосфора, пусть и с небольшим превышением последнего над рекомендуемым уровнем.

В процессе расчётов по трём кладковым племенным кормам (ПК-6, ПК-7, ПК-8) использование монокальцийфосфата и трикальцийфосфата не позволило решить задачу достижения оптимального баланса кальция и фосфора (ΔCa/ΔP ≈ 4-5), поскольку даже при применении чистого трикальцийфосфата не удавалось добиться необходимого соотношения Ca:P. Поэтому для этих кормов приняли решение о точном регулировании содержания кальция до заданного показателя, что, однако, сопровождалось небольшим избытком фосфора по сравнению с требуемым уровнем.

Корректировка содержания сырого протеина с помощью лизина и треонина

Для каждого вида корма рассчитывался дополнительный объём сырого протеина (СП), необходимый для выравнивания между расчётным и фактическим содержанием этого компонента.

Расчет дополнительного СП осуществлялся с использованием формулы 6:

$$\Delta СП = СП_{цель} - СП_{факт} \quad (6)$$

Для увеличения уровня содержания СП использовали лизин и треонин в равных пропорци-

ях. Лизин обладает содержанием СП в пределах 66-70%, средняя величина которого приближается к 68%. В то же время, треонин показывает более высокую концентрацию СП, колебания которой лежат в диапазоне от 72% до 76%, со средним значением около 74%.

Общее содержание сырого протеина вычисляется с учётом добавленных количеств лизина и треонина, которые обозначаются как L:

$$\text{СП}_{\text{доб}} = L \times 0.68 + L \times 0.74 = 1.42L.$$

Для определения оптимальных объемов лизина и треонина, гарантирующих достижение заданных показателей СП, была использована формула 7:

$$L = \frac{\Delta\text{СП}}{1.42}. \quad (7)$$

В качестве примера рассмотрим расчёт для корма КБ-1:

$$\Delta = 23.3\% - 22.4\% = 0.9\%;$$

$$L = \frac{0.9}{1.42} \approx 0.6338\%$$

(лизин и треонин по 0.63% каждый) ;

Для остальных видов кормов также провели аналогичные вычисления, а их итоги представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Рассчитанные дозировки добавок, используемых для оптимизации состава комбикормов для бройлеров и племенных кур, в % от итоговой массы корма

Тип корма	Монокальцийфосфат	Трикальцийфосфат	Лизин	Треонин	Метионин
КБ-1	0,38	0,20	0,63	0,63	0,48
КБ-2	0,32	0,23	0,63	0,63	0,47
КБ-3	0,2	0,29	0,56	0,56	0,44
КБ-4	0,35	0,09	0,42	0,42	0,43
ПК-1	0,26	0,52	0,36	0,36	0,48
ПК-2	0,14	0,14	0,49	0,49	0,45
ПК-3	0,00	0,42	0,35	0,35	0,40
ПК-4	0,52	0,26	0,07	0,07	0,33
ПК-5	0,00	0,77	0,28	0,28	0,37
ПК-6	0,00	0,68	0,36	0,36	0,43
ПК-7	0,00	0,74	0,49	0,49	0,37
ПК-8	0,00	0,48	0,28	0,28	0,38
ПК-12	0,02	0,38	0,14	0,14	0,30

Добавление метионина в рацион цыплят и кур осуществлялось индивидуально, исходя из их потребностей, при этом не изменяя пропорции кальция, фосфора и сырого белка. Важность метионина для птицы обусловлена его незаменимой ролью в синтезе белка, росте, развитии оперения и поддержании общего благополучия. Уровень потребности в метионине, однако, меняется в зависимости от возраста и породы птицы [14, 15].

Обсуждение и результаты. Исследование влияния новых рецептур кормовых добавок на бройлерных цыплят и племенных кур, с акцентом на регулирование белка, кальция и фосфора, выявило существенные изменения в динамике их развития и частоте падежа. Для оценки эффективности этих новых составов кормления, было проведено наблюдение за 200 птицами, разделенными на экспериментальные группы. Изучение влияния нового корма на птицеводство заключалось во взвешивании птиц и подсчёте падежа в каждой группе. Результаты показали, что птицы, получавшие обновленный рацион, демонстрировали стабильно более высокую продуктивность по сравнению с птицами, питавшимися прежним кормом, содержание исследуемых веществ в котором имело несоответствия расчётным значениям и нормативам. Средние показатели контрольных групп были сравнены с показателями исходной популяции и представлены в таблице 3, а также на рисунках 1 и 2.

Таблица 3 - Сравнительные показатели средней массы и процента падежа цыплят и племенных птиц при применении прежних и новых рецептур кормов

Тип корма	Возрастной диапазон	Средняя масса (прежн. корм, кг)	Средняя масса (новый корм, кг)	Прирост массы (%)	Падеж (прежн. корм, %)	Падеж (новый корм, %)	Относительное снижение падежа (%)
КБ-1	0-5 дней	0,22	0,245	11,4	2,5	1,8	28
КБ-2	6-18 дней	0,66	0,705	6,8	3,1	2,2	29
КБ-3	19-28 дней	1,65	1,80	9,1	4,2	3,0	29
КБ-4	29-42 дня	2,75	2,95	7,3	5,0	3,8	24
ПК-1	0–4 недель	0,45	0,48	6,7	3,0	2,4	20,0
ПК-2	4–10 недель	1,20	1,30	8,3	3,5	2,8	20,0
ПК-3	10–14 недель	1,80	1,95	8,3	4,0	3,0	25,0
ПК-4	14–17 недель	2,00	2,10	5,0	4,5	3,7	17,8
ПК-5	17–19 недель	2,20	2,32	5,5	5,0	4,0	20
ПК-6	19–30 недель (кладковый)	2,50	2,65	6,0	5,5	4,3	21,8
ПК-7	30–45 недель	2,60	2,75	5,8	6,0	4,7	21,7
ПК-8	45–50 недель	2,40	2,52	5,0	6,5	5,2	20,0
ПК-12	петухи (любой возраст)	1,50	1,55	3,3	4,0	3,3	17,5

Данные таблицы демонстрируют, что общий процент падежа в исходной популяции за весь цикл выращивания равнялся 4,37%, тогда как в опытных группах этот показатель снизился до 3,4%. Это означает, что применение экспериментальных методик позволило добиться среднего снижения падежа на 22,6%, что эквивалентно 0,97 процентным пунктам в абсолютном выражении. Опытная группа, где корм был оптимизирован, показала существенную редукцию рисков, связанных с возникновением проблем, что привело к уменьшению числа ослабленных и нежизнеспособных особей.

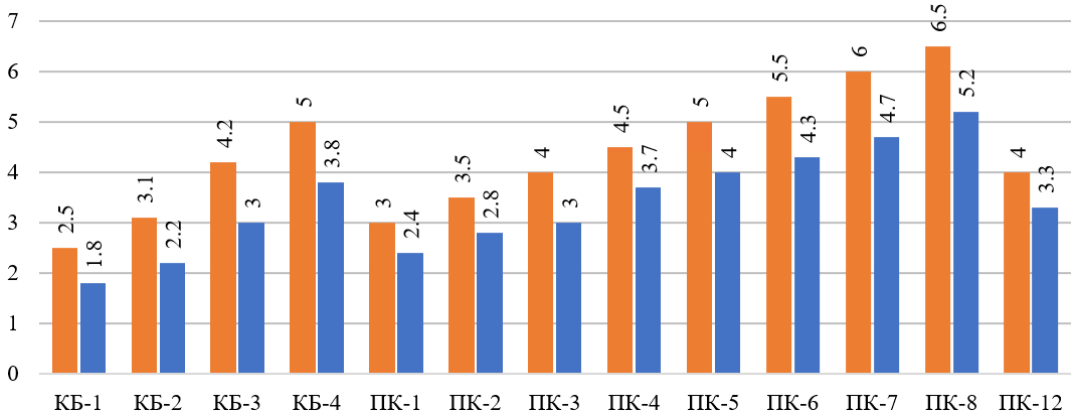


Рис.1 - Разница в падеже цыплят и кур при использовании прежних и новых рецептур кормов

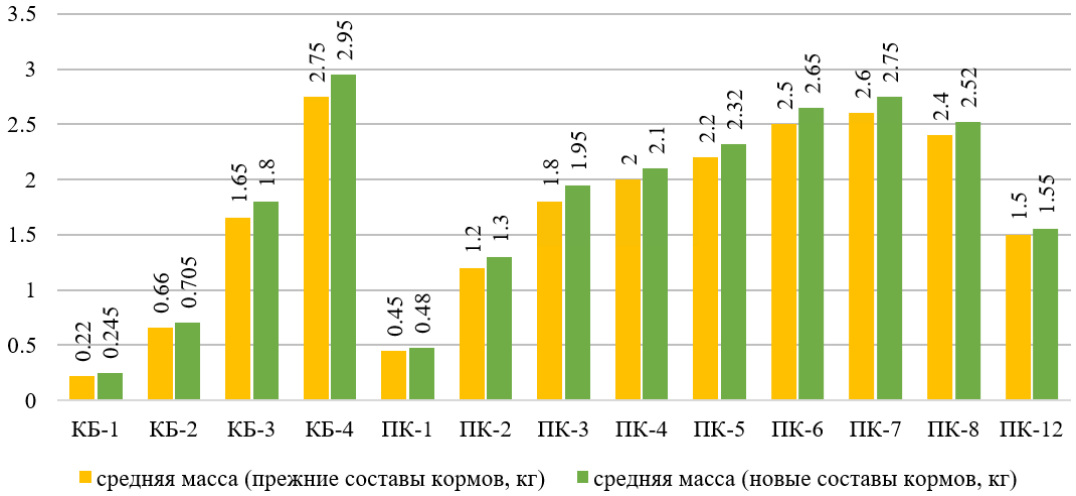


Рис.2 - Разница в средней массе цыплят и кур при использовании прежних и новых рецептур кормов

В результате внедрения кормовых добавок, обеспечивающих оптимальный баланс белка, кальция и фосфора, наблюдается существенный рост продуктивности птицеводства и уменьшение финансовых убытков.

Анализ результатов, полученных при сравнении контрольных групп, получавших стандартный корм и улучшенный корм с добавками, показал, что корректировка состава корма, включающая добавление монокальцийфосфата, трикальцийфосфата, лизина, треонина и метионина, в точном соответствии с необходимыми нормами белка, кальция и фосфора, существенно улучшила ключевые показатели птичьего хозяйства.

Цыплята, получавшие новый корм, демонстрировали ускоренный темп развития, что подтверждалось более быстрым увеличением массы тела и меньшей долей падежа. В сравнении с контрольной группой, которая питалась кормами по старым рецептурам, имевшим некоторые недостатки в содержании веществ от нормативных, наблюдалось снижение падежа во всех категориях: цыплятах, несушках и петухах.

Анализ собранных данных и наблюдений демонстрирует, что корректировка рецептуры корма с точным подсчетом дозировок добавок привела к улучшениям показателей здоровья птицы. В частности, отмечается относительное снижение падежа на 17-29% по отношению к группам, которым предоставлялся корм по устаревшим рецептурам, что свидетельствует о повышении устойчивости птицы к стрессу и более эффективном функционировании метаболических процессов.

Введение нового состава корма благотворно сказалось на росте птицы, что зафиксировано в виде относительного прироста веса среди групп цыплят бройлеров на 7-11%, и среди разных возрастных категорий племенной птицы на 3-7%, а также в повышении качества продукции – яйца у несушек стали обладать более однородной и стабильно крепкой скорлупой.

Выводы. В ходе исследования была определена оптимальная рецептура комбикормов для птиц, которая достигается путем точного подбора пропорций сырого протеина, кальция и фосфора с использованием специальных компонентов. Для определения необходимых дозировок этих компонентов были применены химические аналитические методы, а также математические расчеты. В результате удалось выработать рекомендации по содержанию добавок в комбикормах для разных категорий птицы, например, для бройлеров: фосфорсодержащие добавки (монокальцийфосфат и трикальцийфосфат) в дозировке от 0,09 до 0,38%, а также незаменимые аминокислоты (лизин, треонин и метионин) в диапазоне от 0,42 до 0,63%. Оптимизация состава кормов привела к заметному ускорению роста птицы, например, у бройлеров прирост веса составил 6,8-11,4%. Кроме того, удалось добиться существенного, в среднем на 22,6%, снижения падежа среди всех цыплят и кур. Разработанные рецептуры и расчетная методика могут быть успешно внедрены в производство, что позволит повысить эффективность и прибыльность птицеводства. Предлагаемая методология может быть адаптирована к конкретным условиям и использована в других отраслях сельского хозяйства.

Литература

1. An S. H., et al. Ileal Digestibility and Total Tract Retention of Phosphorus in Inorganic Phosphates Fed to Broiler Chickens Using the Direct Method // Animals. - 2020. - Vol.10 (11). - P.2167. DOI 10.3390/ani10112167.

2. Ishii T., Shibata K., Ka, S., Noguchi K., Hendawy A.O., Fujimura S., Sato K. Dietary Supplementation with Lysine and Threonine Modulates the Performance and Plasma Metabolites of Broiler Chicken // The Journal of Poultry Science. - 2019. - Vol.56 (3). - P.204-211. DOI 10.2141/jpsa.0180104.

3. Alagawany M., Elnesr S. S., Farag M. R., Tiwari R., Yatoo Mohd. I., Karthik K., Michalak, I., Dhama K. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health – a comprehensive review // Veterinary Quarterly. - 2021. - Vol.41 (1). - P.1-29. DOI 10.1080/01652176.2020.1857887.

4. Latimer G.W., Jr. (ed.). Official Methods of Analysis: 22nd Edition // Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. - New York. - 2023. - AOAC Publications. - DOI 10.1093/9780197610145.002.001.

5. Lee S., Lopez D., Stein H. Mineral composition and phosphorus digestibility in feed phosphates fed to pigs and poultry//Animal Bioscience.-2023.-Vol.36(2).-P.167-174. DOI 10.5713/ab.22.0322.

6. He W., Li P., Wu G. Amino Acid Nutrition and Metabolism in Chickens // Amino Acids in Nutrition and Health. Advances in Experimental Medicine and Biology. - Cham: Springer, 2021. - Vol.1285. - P.109-131. DOI 10.1007/978-3-030-54462-1_7.

7. Межгосударственный стандарт 13496.0-2016. Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы отбора проб.- Москва: Стандартинформ. - 2020. URL: https://files.stroyinf.ru .- Дата обращения: 23.05.2025.

8. Межгосударственный стандарт 13496.4-2019. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. – Москва: Стандартинформ. - 2019. URL: https://meganorm.ru .- Дата обращения: 23.05.2025.4. Межгосударственный стандарт 23423-2017.

Метионин кормовой. Технические условия. –Москва: Стандартинформ. - 2020. URL: . - Дата обращения: 23.05.2025.

10. Межгосударственный стандарт 24596.4-2015. Фосфаты кормовые. Методы определения кальция. – Москва: Стандартинформ. - 2020. URL: https://meganorm.ru/Data/606/60690.pdf.- Дата обращения: 23.05.2025.6. Межгосударственный стандарт 24596.2-2015. Фосфаты кормовые. Методы определения фосфора. Москва: Стандартинформ. - 2020. URL: . - Дата обращения: 23.05.2025.

12. Межгосударственный стандарт 26570-95. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения кальция. – Минск: ИПК Издательство стандартов. - 2003. URL: . - Дата обращения: 23.05.2025.

13. Межгосударственный стандарт 26657-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора. – Минск: ИПК Издательство стандартов. - 1999. URL: . - Дата обращения: 23.05.2025.

14. Cobb500 Broiler Performance and Nutrition Supplement // Cobb-Vantress Inc., Siloam Springs, AR, USA. - 2022. URL: . - Дата обращения: 23.05.2025.

15. J. Zhang, S. Geng, Y. Zhu, L. Li, L. Zhao, Q. Ma, et al. Effects of dietary methionine supplementation on the growth performance, immune responses, antioxidant capacity, and subsequent development of layer chicks // Poultry Science. - 2024. - Vol.103 (3). - 103382. DOI 10.1016/j.psj.2023.103382.

References

1. An S. H., et al. Ileal Digestibility and Total Tract Retention of Phosphorus in Inorganic Phosphates Fed to Broiler Chickens Using the Direct Method // Animals. — 2020. — Vol.10 (11). — P.2167. DOI 10.3390/ani10112167.

2. Ishii T., Shibata K., Ka, S., Noguchi K., Hendawy A.O., Fujimura S., Sato K. Dietary Supplementation with Lysine and Threonine Modulates the Performance and Plasma Metabolites of Broiler Chicken // The Journal of Poultry Science. - 2019. - Vol.56 (3). - P.204-211. DOI 10.2141/jpsa.0180104.

3. Alagawany M., Elnesr S. S., Farag M. R., Tiwari R., Yatoo Mohd. I., Karthik K., Michalak, I., Dhama K. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health – a comprehensive review // Veterinary Quarterly. - 2021. - Vol.41 (1). - P.1-29. DOI 10.1080/01652176.2020.1857887.

4. Latimer G.W., Jr. (ed.). Official Methods of Analysis: 22nd Edition // Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. - New York. - 2023. - AOAC Publications. - DOI 10.1093/9780197610145.002.001

5. Lee S., Lopez D., Stein H. Mineral composition and phosphorus digestibility in feed phosphates fed to pigs and poultry // Animal Bioscience. - 2023. - Vol.36 (2). - P.167-174. DOI 10.5713/ab.22.0322.

6. He W., Li P., Wu G. Amino Acid Nutrition and Metabolism in Chickens // Amino Acids in Nutrition and Health. Advances in Experimental Medicine and Biology. - Cham: Springer, 2021. - Vol.1285. - P.109-131. DOI 10.1007/978-3-030-54462-1_7.

7. Mezhgosudarstvennyj standart 13496.0-2016. Kombikorma, kombikormovoe syr’ e. Metody otbora prob.- Moskva: Standartinform. - 2020. URL: https://files.stroyinf.ru .- Data obrashhenija: 23.05.2025.[in Russian]

8. Mezhgosudarstvennyj standart 13496.4-2019. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr’ e. Metody opredelenija soderzhanija azota i syrogo proteina. – Moskva: Standartinform. - 2019. URL: https://meganorm.ru .- Data obrashhenija: 23.05.2025. [in Russian]

9. Mezhgosudarstvennyj standart 23423-2017. Metionin kormovoj. Tehnicheskie uslovija. – Moskva: Standartinform. - 2020. URL: https://files.stroyinf.ru. - Data obrashhenija: 23.05.2025.[in Russian]

10. Mezhgosudarstvennyj standart 24596.4-2015. Fosfaty kormovye. Metody opredelenija kal’ cija. - Moskva: Standartinform. - 2020. URL: https://meganorm.ru .- Data obrashhenija: 23.05.2025. [in Russian]

11. Mezhgosudarstvennyj standart 24596.2-2015. Fosfaty kormovye. Metody opredelenija fosfora. Moskva: Standartinform. - 2020. URL: https://meganorm.ru. - Data obrashhenija: 23.05.2025. [in Russian]

12. Mezhgosudarstvennyj standart 26570-95. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr’ e. Metody opredelenija kal’ cija. – Minsk: IPK Izdatel’ stvo standartov. - 2003. URL: https://meganorm.ru. - Data obrashhenija: 23.05.2025. [in Russian]

13. Mezhgosudarstvennyj standart 26657-97. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr’ e. Metod opredelenija soderzhanija fosfora. – Minsk: IPK Izdatel’ stvo standartov. - 1999. URL: https://files.stroyinf.ru. - Data obrashhenija: 23.05.2025. [in Russian]

14. Cobb500 Broiler Performance and Nutrition Supplement // Cobb-Vantress Inc., Siloam Springs, AR, USA. - 2022. URL: https://www.cobbgenetics.com. - Data obrashhenija: 23.05.2025.

15. J.Zhang, S. Geng, Y. Zhu, L. Li, L. Zhao, Q. Ma, et al. Effects of dietary methionine supplementation on the growth performance, immune responses, antioxidant capacity, and subsequent development of layer chicks // Poultry Science. - 2024. - Vol.103 (3). - 103382. DOI 10.1016/j.psj.2023.103382.

Сведения об авторах

Цешковская Е.А.- канд.геогр.наук, Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан,e-mail: elena_tsesh@mail.ru;

Цой Н.К.- канд.техн.наук, Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова», Караганда,Казахстан, e-mail: zoinat@mail.ru;

Оралова А.Т.- канд.хим.наук, доцент, Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова»,Караганда, Казахстан, e-mail: oralovaat@rambler.ru;

Коробов Д. А.- магистрант, Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан, e-mail: korobov.david88@gmail.com.

Information about the authors

Tseshkovskaya Y.A.- Candidate of Geographical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: elena_tsesh@mail.ru;

Tsoy N.K.- Candidate of Technical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: zoinat@mail.ru;

Oralova A.T.- Candidate of Chemical Sciences, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: oralovaat@rambler.ru;

KorobovD. A.- master student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, e-mail: korobov.david88@gmail.com.

ҒТАМР 61.53.99 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1186**

ТӨМЕН СҰРЫПТЫ КӨМІРДІҢ ТҰТҚЫРЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ МҰНАЙМЕН БІРІККЕН ПИРОЛИЗІНІҢ СИНЕРГИЯСЫ

[1,2]Н.У.Нургалиев✉, [1,2]Е.К. Айбульдинов✉, [1]Ж.Б. Искаков✉, [3]А. Колпек, [3]Ж.Г Берденов, [3]А.С. Сабитов, [3]Э.Е. Копишев, [1,3]Т.Т. Машан, [1,3]Л.А. Кусепова, [1,4]Г.Г. Абдиюсупов

[1]Жаңа химиялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Қ.Құлажанов атындағы технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3] Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[4]CCS Services - Central Asia, Алматы, Қазақстан
✉*Корреспондент-автор: nurgaliev_nao@mail.ru, elaman_@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru.*

Бұл жұмыста төмен сұрыпты көмірдің тұтқырлығы жоғары мұнаймен біріккен пиролизі көмір және мұнайдың әртүрлі қатынасында зерттелді. Тәжірибе нәтижелері көрсеткендей, мұнай қоспалары 20-дан 80 %-ға дейін шайыр мен газдың шығымдылығын сәйкесінше 50,69 %-ға және 10,39 %-ға айтарлықтай арттыруға, ал жартылай кокс шығымы 61,08 %-ға айтарлықтай төмендеген. Сонымен қатар, мұнай қоспалары DTG спектрлерінде 2-ші (шамамен 507-443°C) және 3-ші (шамамен 713-666°C) кезеңдерінде салмақ жоғалтудың максималды шыңдарының температураның айтарлықтай төмендеуіне әкелді, бұл кезеңде сәйкес ыдырау шыңдарының қарқындылығы айтарлықтай жоғарылады. Сопиролиз бойынша тәжірибелік және теориялық мәліметтерді салыстырмалы талдау майдың 80 % қосылғанда айтарлықтай оң синергетикалық әсердің байқалатынын, ал 20-60 % мұнайды қосқанда теріс синергиялық әсердің болғанын көрсетті. Бұл факт сондай-ақ TG-DTG-DSC термиялық талдауының нәтижелерімен және эксперименттік және теориялық TG және DTG спектрлерінің салыстырмалы талдауымен расталды, бұл сынаманың ең үлкен салмақ жоғалтуы мен салмақ жоғалту жылдамдығы осы май қосылған кезде байқалды.

Түйін сөздер: сопиролиз; төмен сұрыпты көмір; тұтқырлығы жоғары мұнай; синергетикалық әсер; пиролиз шайыры; газ; қатты қалдық; TG-DTG-DSC талдауы

СИНЕРГИЯ СОВМЕСТНОГО ПИРОЛИЗА НИЗКОСОРТНОГО УГЛЯ И ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ

[1,2]Н.У.Нургалиев✉, [1,2]Е.К. Айбульдинов✉, [1]Ж.Б. Искаков✉, [3]А. Колпек, [3]Ж.Г Берденов, [3]А.С. Сабитов, [3]Э.Е. Копишев, [1,3]Т.Т. Машан, [1,3]Л.А. Кусепова, [1,4]Г.Г. Абдиюсупов

[1]Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3] Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[4]CCS Services - Central Asia, Алматы, Казахстан,
e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru, elaman_@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru.

В данной статье проведено исследование совместного пиролиза низкосортного угля с высоковязкой нефтью при различных соотношениях угля и нефти. Результаты экспериментов показали, что добавки нефти от 20 до 80% приводят к существенному повышению выхода смолы и газа соответственно на 50.69% и на 10.39% и значительному снижению выхода полукокса на 61.08%. Более того, добавки нефти приводили к заметному снижению температур пиков максимальной потери веса на 2-й (около 507-443°C) и 3-й (около 713-666°C) стадиях на спектрах DTG с существенным увеличением интенсивности соответствующих пиков разложения на этих стадиях. Сравнительный анализ экспериментальных и теоретических данных по совместному пиролизу показал, что при добавке нефти 80% наблюдался существенный положительный синергетический эффект, в то время как добавки 20-60% нефти приводили к отрицательному синергетическому эффекту. Этот факт

подтвердили также результаты термического анализа TG-DTG-DSC и сравнительный анализ экспериментальных и теоретических спектров TG и DTG, которые показали, что при данной добавке нефти наблюдаются наибольшие потери веса и скорости потери веса образца.

Ключевые слова: сопиролиз; низкосортный уголь; высоковязкая нефть; синергетический эффект; пиролизная смола; газ; твердый остаток; TG-DTG-DSC анализ

SYNERGY OF COMBINED PYROLYSIS OF LOW-GRADE COAL AND HIGH-VISCOSITY OIL

[1,2]N.U. Nurgaliyev✉, [1,2]Ye.K. Aibuldinov✉, [1]Zh.B. Iskakova✉, [3]A. Kolpek, [3]Zh.G. Berdenov, [3]A.S. Sabitov, [3]E.Ye. Kopishev, [1,3]T.T. Mashan, [1,3]L.A. Kusepova, [1,4]G.G. Abdiyussupov

[1]Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[3]Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[4]CCS Services – Central Asia, Almaty, Kazakhstan
e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru, elaman_@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru.

In this paper, the co-pyrolysis of low-grade coal with high-viscosity oil was investigated at different coal-to-oil ratios. The experimental results showed that the oil additions from 20 to 80% resulted in a significant increase in the tar and gas yields by 50.69% and 10.39%, respectively, and a significant decrease in the semi-coke yield by 61.08%. Moreover, the oil additions resulted in a noticeable decrease in the peak temperatures of maximum weight loss at the 2nd (about 507-443°C) and 3rd (about 713-666°C) stages in the DTG spectra with a significant increase in the intensity of the corresponding decomposition peaks at these stages. A comparative analysis of the experimental and theoretical data on co-pyrolysis showed that a significant positive synergistic effect was observed at the oil addition of 80%, while the additions of 20-60% oil resulted in a negative synergistic effect. This fact was also confirmed by the results of TG-DTG-DSC thermal analysis and a comparative analysis of the experimental and theoretical TG and DTG spectra, which showed that with this oil additive, the greatest weight loss and rate of weight loss of the sample are observed.

Keywords: co-pyrolysis; low-grade coal; high-viscosity oil; synergistic effect; pyrolysis resin; gas; solid residue; TG-DTG-DSC analysis

Кіріспе. Қазақстанның көмір өнеркәсібі ел экономикасының ірі салаларының бірі болып табылады. Статистикаға сәйкес [1] 2020 жылғы мәлімет бойынша Қазақстан көмір қоры бойынша әлемде 10-шы орында. Бұл ретте маңызды мәселе төмен сұрыпты көмірді (ТСК) практикада қолдану болып табылады, оның жағымсыз сипаттамаларына байланысты тек қолдану мүмкіндігі шектеулі. Төмен сұрыпты көмірлер (әдетте қоңыр көмірлер немесе суббитумды көмірлер) ылғалдың және/немесе күлдің жоғары болуына, сондай-ақ зиянды заттардың шығарындыларының жоғарылауына байланысты меншікті энергиясы төмен, бірақ электр энергиясына сұранысты өсуі жағдайында байланысты оларды пайдалану қажеттілігі артуда [2]. Алайда, мұндай көмірді тікелей пайдалану не шығарындыларды азайту қажетті шығынды арттырады, не электр станцияларының тиімділігін төмендетеді, яғни парниктік газдар шығарындыларын арттырады. Көміртегі шығарындыларын бақылаудың қазіргі жағдайларында ылғал, күл және/немесе басқа микроэлементтер бойынша төмен сұрыпты көмірлердің сипаттамаларын жақсарту маңызды [2].

ТСК пиролизі шайыр мен газды таза және тиімді өндіруді жүзеге асырудың оңтайлы әдісі болып саналады [3]. Көмірден алынатын бағалы өнімдердің ішінде шайыр пиролиздің негізгі өнімі болып табылады және олефиндер [4,5], қосылған құны бар ароматты қосылыстар [6] және көмір шайыры негізіндегі материалдар [4] алу үшін маңызды шикізат ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Пиролиз процесінің тиімділігін арттыру және басқа да әртүрлі қалдықтарды бір мезгілде тарту

мақсатында дүние жүзінің көптеген ғалымдары көмірдің және биомасса, көмірдің тікелей сұйылту қалдықтары, мұнай тақтатастары, полимер қалдықтары және басқа органикалық материалдар сияқты қоспалардың сопиролизі бойынша зерттеулер жүргізіп келеді [7-30]. Зерттеу негізінен пиролиз өнімдерінің шығымдылығы мен сапасын оңтайландыруға және пиролиз кезіндегі синергетикалық әсерді есепке алуға бағытталған. Сонымен бірге сопиролиз кезінде шикізаттың әртүрлі сипаттамалары үлгілер мен өнімдердің реактивтілігі мен жылулық қасиеттерін өзгерте алады, ал синергетикалық әсер нәтижесінде алынған өнімнің сапасын жақсарта алады [7]. Сонымен қатар, төмен сұрыпты көмірдің әртүрлі шикізат түрлерімен бірге пиролизі көмірдің конверсия жылдамдығын және пайдалану коэффициентін жақсарта алады [31]. Сондай-ақ, копиролиз бірте-бірте шайырдың шығымдылығын арттыру үшін ғана емес, сонымен қатар NOX, SOX және ұшқыш органикалық қосылыстардың шығарындыларын азайту үшін де пайдалы бола бастады [32].

Төменгі сұрыпты көмір мен биомассаның сопиролизінің синергиялық әсері көмірдің сорты төмендеген сайын маңыздырақ бола түседі, мүмкін олардың бастапқы құрылымында жылдам сопиролиз кезінде шайыр ретінде оңай сақталатын үлкен кеуектер мен хош иісті құрылымдардың шағын кластерлері бар [8]. ТСК және биомассаның сопиролизі кезінде синергиялық әсер байқалды, онда сопиролиз моноциклді және бициклді ароматты көмірсутектердің құрамының артуына ықпал етті [9]. Бұл ретте ароматты көмірсутектер мен фенолдардың үлесі есептелген мәнмен салыстырғанда айтарлықтай өсті, ал C<10 компоненті 86,48 % құрады, бұл 12,68 % есептік көрсеткіштен жоғары. Қоңыр көмір мен күріш қауызының біріккен пиролизі судың көп және шайырдың аз түзілуіне әкеледі [10]. Күріш қабығын қосу поликонденсация реакциясына байланысты қатты қалдықтың (пиролизден кейін) жоғары C/H атомдық қатынасына әкеледі, бұл конденсацияланған көмірді қалыптастыру. Битумды көмір мен биомассаның сопиролизінде синергетикалық әсер байқалды, әсіресе көмір-биомассаны араластыру қатынасы 70:30 (мас./мас.), температурасы 600 °C, қысымы 0,3 МПа [11]. Шайырдың шығымы әрбір шикізаттың жеке пиролизінің есептелген мәндерінен жоғары болды (шамамен 7,2 %) және сәйкесінше көмір шығымы төмен (шамамен 4,5 %) болды. Құрамындағы фенол қосылыстары, ароматты және алифатты көмірсутектер көбейді.

Ұнтақталған көмірдің және тікелей сұйылту қалдығының (ТСҚ) сопиролизінің нәтижелері айтарлықтай синергиялық әсерді көрсетті [12]. Екі шикізат та сутегі доноры қызметін атқарды, бұл шағын молекулалық бос радикал фрагменттерінің гидрленуіне ықпал етті, нәтижесінде шайыр шығымының артуына (5,55 %) әкелді, алкандардың мөлшері 12,25 %-ға артты, ал гудрондағы хош иісті көмірсутек пен фенолдың мөлшері сәйкесінше 11,898 %-ға азайды. Газдағы CH_4 мөлшері 19,60 %-ға өсті, ал H_2 мөлшері 19,05 %-ға төмендеді. Қоңыр көмірге ТСК қосқанда да синергиялық әсер байқалды, өйткені пиролиттік қатты қалдықтың нақты шығымы ТСК дозасының жоғарылауына байланысты теориялық мәннен жоғары болды, бұл өз кезегінде жоғары хош иістілікке және көмірдің реттелген құрылымына әкелді, ал көмірдің кеуекті құрылымы азырақ жақсарды [13].

Ұнтақталған көмір мен тікелей сұйылту қалдықтары арасындағы синергиялық әсер пиролиз шайырының шығымының артуына ықпал ететін бос радикалдар фрагменттері арасындағы өзара әрекеттесуді күшейтеді [14]. Шайыр мен H_2 максималды шығымы сәйкесінше 22,79 % және 37,12 %, 40 % ТСК қосқанда, ал 60 % ТСК қосқанда жартылай кокстың ең аз шығымы 65,01 %, газдың максималды шығымы 14,65 % құрады. Төменгі сұрыпты көмір мен кокстелетін көмірдің сопиролизі нәтижесінде елеулі синергиялық әсер байқалды, олардың қосылуы коллоидтар мөлшерінің ұлғаюына әкелді және пиролиз өнімдерінің өзара әрекеттесу реакциясы үшін жағдайларды қамтамасыз етті [15]. Екі шикізат та сутегі доноры ретінде пайдаланылды және пиролизден алынған бос радикалдар фрагменттері гидрлеу реакциясын жеңілдетті. Көмір мен тақтатастың әртүрлі сорттарының сопирол-

издік сипаттамаларын зерделеу кезінде процесс барысында синергия табылды, көмір мұнайлы тақтатастарды сутегімен қамтамасыз етеді, бұл гудронның шығымдылығын арттырады және құны жоғары шайырлы құрамдас қоспа ретінде қызмет етеді [16].

Құны жоғары құрамдас бөлігі бар өнімдерді алу үшін төмен сұрыпты көмірмен біріккен пиролизге арналған көмірсутекті шикізаттың тағы бір перспективалы түрі – жоғары тұтқыр (ауыр) мұнай, табиғи битум және т.б. сияқты «дәстүрлі емес көмірсутекті шикізат». Мысалы, ауыр мұнай және табиғи битум ароматты көмірсутектердің, шайырлы-асфальтті заттардың жоғары мөлшерімен, металдар мен күкіртті қосылыстардың жоғары концентрациясымен, тығыздық пен тұтқырлықтың жоғары мәндерімен, кокстелудің жоғарылауымен сипатталады.. Алайда мұндай шикізатты өңдеу дәстүрлі көмірсутек көздерін өңдеуге қарағанда күрделірек технологияларды және айтарлықтай қаржылық және энергетикалық шығындарды қажет етеді. Екінші жағынан, күрделі құрамға ие ауыр мұнай жоғары тығыздық пен тұтқырлық мәндеріне ие. Сондықтан, термиялық ыдырау процесінде мұнай көмір бөлшектерінің кеуектеріне белсенді түрде еніп, оларды қоршай алады және жанасу аймағын ұлғайтады, нәтижесінде көмір мен мұнай бөлшектері арасында тиімді әрекеттесу пайда болуы мүмкін. Осыған байланысты бұл жұмыстың мақсаты тұтқырлығы жоғары мұнайдың әртүрлі қоспаларының төмен сұрыпты көмірмен біріккен пиролиз процесіне әсерін зерттеу, сонымен қатар пиролиз өнімдерінің шығымы мен сипаттамаларын зерттеу болып табылады. Көмір мен мұнай арасындағы синергетикалық әсерді анықтау және талдау үшін термиялық әдіс қолданылды, TG-DTA/DSC үлкен температура диапазонында трансформацияның барлық кезеңдерін тіркей отырып, салыстырмалы түрде қысқа мерзімде үлгінің ыдырау процесінің сипаты туралы ауқымды ақпаратты алуға мүмкіндік береді [33].

Материалдар мен әдістер. Бұл зерттеуде пайдаланылған көмір төмен сұрыпты, ұзақ жалынды көмір түрі болды. Бұл көмір Борлы көмір кен орнынан (Қазақстан) жиналды және көлемі 5 мм-ден төмен ұсақталған күлділігі жоғары көмір болып табылады. Шарлы ұнтақтаудан кейін көмір <200 мкм бөлшектер өлшеміне дейін електен өткізіліп, одан әрі пайдалану үшін кептірілді. Тұтқырлығы жоғары мұнай үлгілері «Сарыбұлақ» мұнай-газ кен орнынан (Зайсан бассейні, Қазақстан) алынған. Шикізаттың екі түрінің орташа үлгілері алдын ала дайындалды.

1 - кесте. Шикізаттың сипаттамасы

Үлгілер	Құрама (%)									Молярлық қатынас	
	M	A	V	FC	C	H	O*	N	S	H/C	O/C
көмір	5.34	47.38	22.31	24.97	84.41	5.96	6.94	1.19	1,5	0,84	0,06
мұнай	6.59	0,1	90,94	2.37	83,75	10.08	3.96	0,52	1.69	1.43	0,04

M – ылғалдылық; A – күлділігі; V – ұшқыш зат; FC – тұрақты көміртек

1-кестеде көмір мен мұнайдың элементтік құрамы берілген. Көріп отырғанымыздай, көмір өте жоғары күлділігімен (47,38 %) және ұшпа заттар мөлшерінің (22,31%) төмен болуымен сипатталады. Көмірден айырмашылығы, тұтқырлығы жоғары мұнайдың күлділігі өте төмен (0,10 %) және көмірмен салыстырғанда ұшпа заттардың шығымдылығы (90,94 %) және көміртегі мен сутегі мөлшері айтарлықтай жоғары. Мұнайдағы сутегінің мөлшері 9 %-дан асады, бұл сутектің қайта бөлінуіне байланысты пиролиз өнімдерінің сапасына, сондай-ақ белсенді бос сутегі радикалдарының көптеп түзілуіне әкеледі [34]. Сонымен қатар, мұнайдағы (көмірге қарағанда) жоғары H/C мәні және көмірге қарағанда мұнайда негізінен алкандар мен оле-

финдердің жоғары болуын көрсетеді. Ал көмірде (мұнайға қарағанда) жоғары O/C мәні негізінен ароматты көмірсутектер, фенолдар, кетондар, альдегидтер сияқты қосылыстардың жоғары болуын көрсетеді.

Төмен сұрыпты көмірдің тұтқырлығы жоғары мұнаймен бірлескен пиролизін жүргізу үшін көмірге әртүрлі мұнай қоспаларымен (20 %-дан 80 %-ға дейін) сынамалар дайындалды, яғни көмір мен мұнайдың массалық қатынасы сәйкесінше 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 200, 200/0.

Үлгілер үлгі ылғалдылығы мен қоршаған атмосфера арасында шамамен тепе-теңдікке жеткенше ауада кептірілді. Дайындалған үлгілер герметикалық жабық контейнерде сақталды. Үлгі (50 г) алюминий ретортына салынып, азот ағыны 100 мл/мин және қыздыру жылдамдығы 10 °C/мин болғанда 500 °C дейін қыздырылды және 90 минут бойы сақталады. Ыдырау өнімдері сумен және мұзбен салқындатылған қабылдағышқа жіберілді. Шайыр мен су конденсацияланды. Газ тәрізді өнімдер талдау үшін сынама алынғаннан кейін атмосфераға шығарылды. Пиролизден кейін сұйық өнім мен қатты қалдықтың шығымы салмақ бойынша, ал пиролиз газының шығымы массалық баланс арқылы есептелді, яғни сынама салмағы мен пиролиз майы мен қатты қалдық салмағы арасындағы айырмашылық арқылы есептелді. Барлық тәжірибелер 3 рет қайталанып, орташа нәтижелер есептелді.

Пиролиз кезінде үлгілердің әрекетін зерттеу термиялық талдау TG-DTA/DSCқұрылғы көмегімен орындалды. Синхронды термиялық талдауға мүмкіндік беретін құрылғы LABSYSTMEvo TG-DTA/DSC (SETARAM, Франция). Бұл модель бір мезгілде термогравиметрияға (TG), дифференциалды термиялық талдауға (DTA) және дифференциалды сканерлеу калориметриясына (DSC) мүмкіндік береді. Термиялық талдау бөлмеден температурасынан бастап 1000 °C температураға дейін 5 мг үлгілермен жүргізілді, жылыту жылдамдығы 20 °C/мин. Азот инертті атмосфераны қамтамасыз ету үшін тасымалдаушы газ ретінде пайдаланылды.

Шикізаттың элементтік талдауы Flash EA 1112 автоматты элементтік анализаторының көмегімен анықталды.

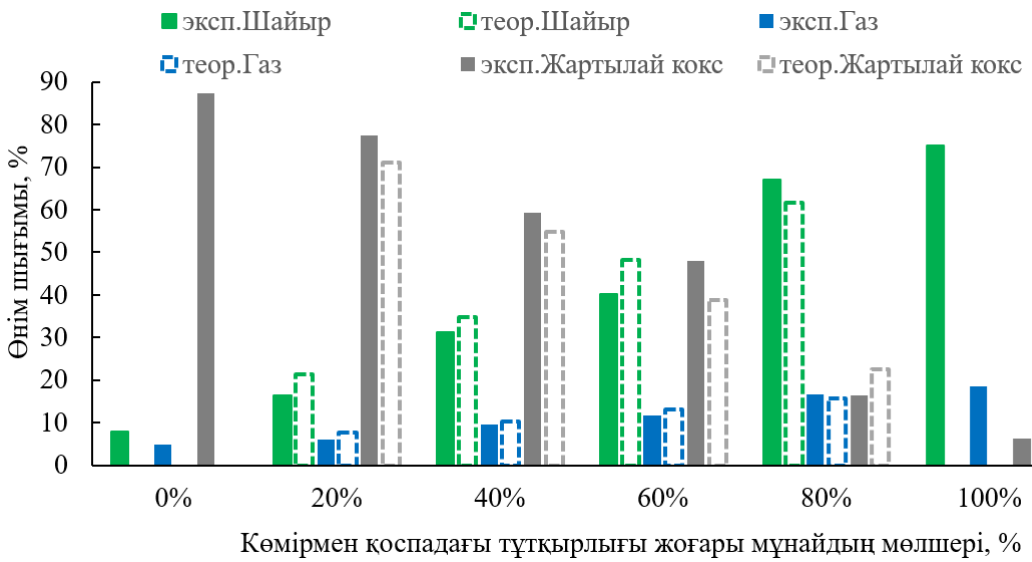
Нәтижелер мен талқылау. *Пиролиз өнімдерінің шығымы.* Көмір мен тұтқырлығы жоғары мұнайдың бірлескен пиролизі процесінің нәтижелері 1-суретте көрсетілген. Тұтқырлығы жоғары мұнайды көмірге 20-дан 80 %-ға дейін қосу, шайырдың (16,34-тен 67,03 %-ға) және газдың (6,15-тен 16,54 %-ға дейін) шығымдылығының айтарлықтай артуына және жартылай кокстың (77,51-ден 16,44 %-ға дейін) айтарлықтай төмендеуін көрсететін бірлескен пиролиздің қолайлы ағымына әкеледі. Мұнайды жекелей 0-20 %, 20-40 %, 40- 60 %, 60-80 % қосқанда шайыр мөлшері сәйкесінше 8,4 9%, 14,93 %, 9,02 % және 26,74 % өсті.

Шайыр мен газ шығымының бұлайша жоғарылауы тұтқырлығы жоғары мұнайдың құрамында шайырлы және асфальтенді компоненттер сияқты ауыр көмірсутектердің мөлшерінің едәуір жоғары болуымен байланысты болса керек, олар қыздырғанда белсенді радикалдар түзе алады. Бұл радикалдар көмірдің термиялық ыдырауын тездетеді, өйткені олар көміртек-көміртек және көміртек-сутек байланыстардың көмір матрицасындағы берік байланыстың үзілуіне әкеледі. Сонымен қатар, мұнай құрамында сутек бар қосылыстардың (әсіресе нафтендік және парафиндік фракциялар сияқты) жоғары болуы сұйық өнімдердің шығымының артуына ықпал етеді және сәйкесінше жартылай кокстың түзілуі басылады.

Жұмыста ауыр мұнайды төмен сұрыпты көмірге қосудан (көмір/мұнай қатынасы 8/2) олардың бірлескен пиролизі кезінде елеулі ұқсас әсерлер байқалды [35], онда шайыр мен газдың шығымы сәйкесінше 12,18 % және 7,74 % өсті, ал қатты қалдық шығымы 20 % төмендеді.

Пиролиз өнімдерінің тәжірибелік және теориялық шығымдарын салыстыру тек 80 % мұнай қосқанда ғана байқалды. Шайыр мен газдың тәжірибелік шығымы теориялық шығымнан жоғары болды, бұл көмір мен мұнай арасындағы оң синергетикалық әсердің нәтижесі болуы мүмкін екенін көрсетеді. Дегенмен, 20-60 % мұнай қосу кезінде тәжірибелік шығымдар шайыр мен газдың теориялық шығымынан аз немесе шама-

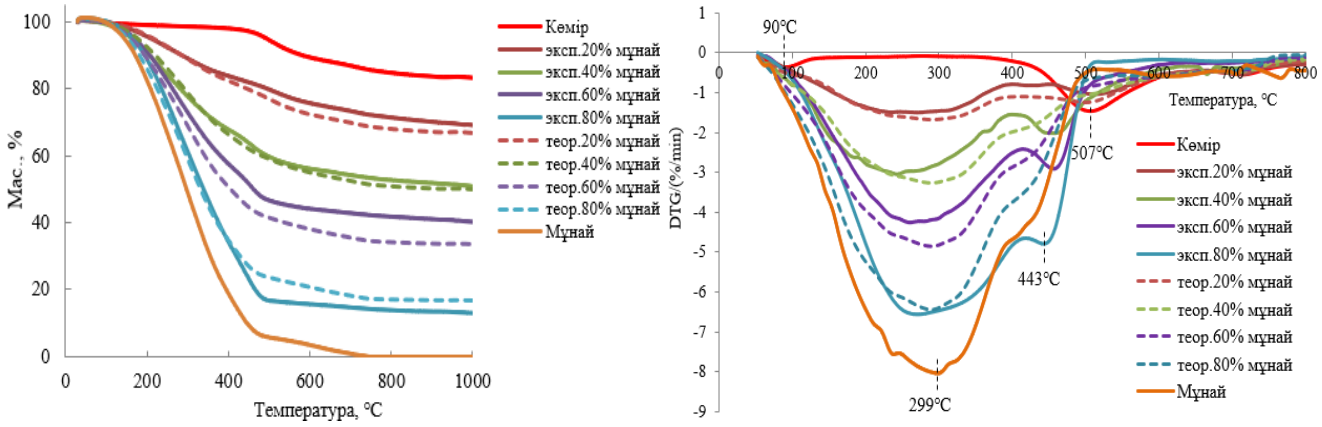
мен бірдей болады, бұл теріс синергиялық әсер- ді көрсетеді.



1 - сурет. Көмірмен бірге пиролиз өнімдерінің тәжірибелік (тұтас сызық) және теориялық (үзік сызық) шығымына әртүрлі мұнай қоспаларының әсері (0-ден 100 % дейін).

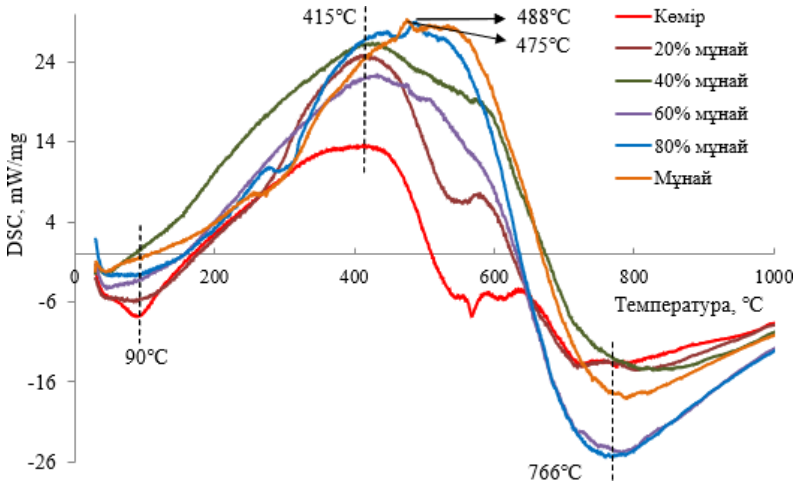
Байқалған оң синергетикалық әсер, шамасы, көмір мен мұнай шикізатының сипаттамаларының айтарлықтай айырмашылығына байланысты. Бұл [36] еңбекте де дәлелденген, мұнда шикізаттың әртүрлі түрлерінің әртүрлі химиялық және физикалық қасиеттері синергиялық әсерге әкелуі мүмкін екендігі атап өтіледі. Мысалы, биомасса қалдықтары мен мұнай шламының бірлескен пиролизінде синергетикалық әсер H/C қатынасының жоғарылауы (1,5-тен 2,0-ге дейін) және жоғары жылу құндылығының (19,5-тен МДж/кг-ға дейін) жоғарылауына байланысты шығымдылықтың жоғарылауына және мұнай сапасының жақсаруына әкелді [9]. Осылайша, көмір/мұнайдың оңтайлы қатынасы 20/80 болып табылады, бұл келесі факторлардың бірқатарына байланысты болуы мүмкін. Мұнайдың жоғары мөлшерімен мұнайдың ыдырауынан пайда болатын радикалдар саны көмірдің макромолекулаларымен тиімді әрекеттесіп, олардың құрылымын бұзатын және ұшқыш заттардың шығымдылығын арттыруға мөлшері жеткілікті болады. Ал құрамында сутегі бар қосылыстардың мөлшері жоғары болуы көмірдің бос радикалдарын белсенді түрде тұрақтандырады. Сонымен қатар, мұнайдың мөлшерінің төмендеуімен (20-60 %) көмірдің ыдырауы сәйкесінше аз болады және реакциялар негізінен көмір матрицасын дегидрлеу және полимерлеу есебінен жүреді, бұл сұйық өнімдер мен газдың шығуын шектейді. Ал құрамында сутек бар қосылыстар мөлшерінің жеткіліксіз болуына байланысты кокстың қарқынды түзілуі жүреді, ал шайырлы өнімдер қайтадан полимерлеуден өтеді. Жалпы алғанда, мұнай мөлшерінің жоғары болуы, оның бөлшектері көмір бөлшектерінің бетін толық жауып, көмірдің кеуектілігін және жылу алмасуды арттырады, көмір матрицасының сұйылуының жоғарлауына ықпал етеді, нәтижесінде шайыр мен газдың шығымының артуына айтарлықтай әсер етеді.

TG-DTG талдауы. Сопиролиз кезінде көмір мен мұнай арасындағы синергиялық әсерді растау үшін TG-DTG-DSC тәжірибелері жүргізілді. Көмір-мұнай пиролизінен және көмір-мұнай сопиролизінен алынған TG-DTG-DSC қисықтары 2 және 3-суреттерде көрсетілген. Осы қисықтар негізінде 2-кестеде көмір/мұнай массасының әртүрлі қатынасы үшін негізгі сипаттамалық параметрлер келтірілген.



(A) *(B)*

2 - сурет. Көмір, мұнай және көмір-мұнай қоспалары үлгілерінің тәжірибелік және теориялық TG (A) және DTG (B) қисықтары



3 - сурет. Көмір, мұнай және көмір-мұнай қоспалары үлгілерінің DSC қисықтары

2 - кесте. Әртүрлі мұнай қоспаларымен пиролиз сипаттамаларының параметрлері

Мұнайдың массалық құрамы (массалық %)	Тбас.	T1max (°C) / DTG1max (% мин-1)	T2max (°C) / DTG2max (% мин-1)	T3max (°C) / DTG3max (% мин-1)	Тсоң.	Салмақ жоғалту (%)
0	436,03	–	506,83 / 1,47	712,84 / 0,55	846,79	16,65
20	140,57	270,43 / 1,50	511,01 / 1,04	712,83 / 0,54	779,47	30,9
40	127,4	243,37 / 3,05	457,93 / 2,02	666,11 / 0,54	773,18	49,27
60	165,67	261,03 / 4,26	456,91 / 2,91	–	769,15	59,8
80	170,36	271,48 / 6,56	443,28 / 4,79	–	763,84	86,87
100	159,76	299.43/ 8.04	–	–	721,16	97,72

$T_{бас.}$ - пиролиз басталғандағы температура, T_{1max} - белгілі температура диапазонында салмақ жоғалтудың максималды жылдамдығына қол жеткізілетін температура, $T_{соң.}$ - пиролиздің соңғы температурасы.

Алынған мәліметтерді талдау 20-80 % мұнай қосқанда үлгілердің салмақ жоғалтуының айтарлықтай артуына әкелетінін көрсетті (шамамен 17-ден 87 % дейін). Әсіресе 80 % мұнай қосқанда басқа мұнай қоспаларымен салыстырғанда (20-60 %) максималды салмақ жоғалту байқалады. Бұл TG және DTG спектрлерінен айқын түрде көрінеді (2-сурет), сонымен қатар DTGmax сандық мәндері және пиролиз кезіндегі жалпы салмақ жоғалту бойынша 2-кестеден көруге болады. Бұл деректер, мысалы, 80 % мұнай қосқанда салмақ жоғалтуды 60 % мұнай қосумен салыстырғандағы айырмашылығы 27,07 % құрағанын көрсетеді, бұл басқа мұнай қоспаларының ішіндегі ең үлкені. Сонымен қатар, тәжірибелік және теориялық мәліметтерді салыстырмалы талдау тек 80% мұнайда тәжірибелік TG-DTG қисықтары теориялық TG-DTG қисықтарынан төмен орналасқанын көрсетті (2-сурет), яғни оң синергетикалық әсерді көрсетеді, ал басқа мұнай қоспаларында эксперименттік TG-DTG қисықтары TG-DTG әсерінің теріс сызығынан жоғары орналасқан.

DTG қисығында 100 % көмір 90,06, 506,83 және 712,84 °C температурада максималды салмақ жоғалту шыңдары бар бірінші реттік ыдыраудың үш кезеңін көрсетті, бұл басқа көмірлер үшін ұқсас деректер шамасымен салыстырылады [34,35,37,38]. DTG қисығының 90,06 °C шағын шыңы массаның жоғалуының жылдамдығының баяу өскенін көрсетті және шикізаттан физикалық адсорбцияланған ылғалдың бөлінуімен байланысты болды [38]. 20 % мұнай қосу бұл шыңның жағылуына және 100 %coal көмірде жоқ 1-ші үлкен шыңның пайда болуына әкелді. Мұнайдың одан әрі қосылған бұл шыңы шамамен 270-299°C шағын диапазонында айтарлықтай өсті және ауытқиды, сонымен қатар бұл кейінгі басқа шыңдармен салыстырғанда ең жоғары болып табылады. Ыдыраудың 1-ші кезеңі төмен қайнайтын қосылыстардың бөлінуінен (мұнайда бар) және әлсіз химиялық байланыстың үзілуінен және CO_2 мен төмен молекулалы ұшқыш заттардың булануы рекомбинациясынан туындауы мүмкін [35].

Температураның одан әрі жоғарылауы ыдыраудың 2-ші кезеңіне әкелді, бұл мұнай қосылған кезде максималды салмақ жоғалту шыңы төменгі температураға (шамамен 507-ден 443 ° C-қа дейін) ығысады және 100 % мұнай қосқан кезде бұл шың толығымен жойылды. Ыдыраудың 2-ші кезеңі көмір мен мұнайдың органикалық бөлігіндегі күштірек химиялық байланыстардың, атап айтқанда құрамында оттек бар функционалдық құрылымдардың қарқынды ыдырауымен, айтарлықтай мөлшерде газдың түзілуімен байланысты. Мұнда жартылай кокстың түзілуімен көмір мен мұнайдың деполимерленуі және ыдырау процестері, сондай-ақ ұшқыш заттар мен шайырдың көп мөлшерін түзе отырып, белсенді H_2 атомдарымен бос радикалды фрагменттерді (тұрақсыз көпір байланыстарының үзілуінен пайда болған) біріктіру процестері жүруі мүмкін [37].

Температура 650 °C-тан жоғары көтерілген кезде ыдыраудың 3-ші кезеңі байқалды, бұл кезде салмақ жоғалту шыңы (2-ші шыңға ұқсас) мұнай қосқанда 713-тен 666 °C-қа дейін төмен температураға қарай ығысады, ал қазірдің өзінде 60 % және 80 % мұнай қосындыларында бұл шың толығымен жойылды. Ыдыраудың 3-ші кезеңі кокстың бастапқы түзілуімен конденсация және карбонизация реакцияларын қамтуы мүмкін және аз мөлшерде ұшқыш газдар бөлінуін жалғастырады.2-ші және 3-ші шыңдардың мұндай жоғалуы жоғарыда аталған процестерге мұнай қосындыларының мөлшерін арттыруды жеделдету әсеріне байланысты болуы мүмкін, нәтижесінде ұшқыш заттардың көпшілігі тіпті T_{2max} және T_{3max}-ға дейін шығарылды.

Көмір үлгісінің DSC қисығы DTG қисығына ұқсас 90 °C температурада эндотермиялық шыңды көрсетеді (үлгі бетіндегі физикалық адсорбцияланған ылғалмен байланысты жылуды сіңіруге байланысты) (3-сурет). Барлық DSC қисықтары 2 негізгі шыңды көрсетеді: экзотермиялық (415-488 °C) және эндотермиялық шыңдар (шамамен 766 °C) және 1-ші шыңның қарқындылығы 2-ші шыңнан әлдеқайда жоғары, өйткені 1-ші шың көптеген негізгі процестермен байланысты, мысалы, органикалық компоненттердің ыдырауы, жартылай гидроген, жартылай коксте-

лу, қалдық ұшпа қосылыстар мен кокс түзілуін жою 2-ге байланысты.

Сонымен қатар, мұнайды қосу көмірдің спектрімен салыстырғанда экзотермиялық шыңның қарқындылығының айтарлықтай артуына әкеледі, өйткені мұнайдың құрамында ұшқыш заттар көп және көмірсутектердің қарқынды ыдырауы жүреді. Ал 80 % мұнайдың қосылуы шыңның қарқындылығының жоғарылауына ғана емес, сонымен қатар 100 % мұнай спектрімен салыстырғанда экзотермиялық шыңның жоғары температураға күрт ығысуына әкеледі, бұл да синергетикалық әсердің болуын растайды.

Қорытынды. Тұтқырлығы жоғары мұнаймен (әртүрлі қатынаста) төмен сұрыпты көмірдің біріккен пиролизін зерттеу нәтижесінде мынадай қорытынды жасауға болады:

1. Көмірге мұнайды 20-дан 80 %-ға дейін қосу қолайлы сопиролизге әкеледі, бұл шайыр шығымының 16,34-тен 67,03 %-ға дейін айтарлықтай өсуінен көрінеді. Сондай-ақ пиролиз газы шығымының 6,15-тен 16,54 %-ға дейін біртіндеп артуы байқалады, ал жартылай кокс мөлшері 77,51-ден 16,43 %-ға дейін айтарлықтай төмендеді. Бұл негізінен тұтқырлығы жоғары мұнай құрамындағы шайырлар мен асфальтендердің көп болуына байланысты болуы мүмкін.

2. Термиялық талдау нәтижелері TG-DTG-DSC көмір пиролизі температура шыңдары бар бастапқы ыдыраудың 3 сатысынан тұратынын көрсетті.90,06; 506,83 және 712,84 °C. Қоспаға 20 % мұнай қосу төменгі температура шыңының жағылуына және қосымша шыңның пайда болуына әкелді (270-299 °C), оның интенсивтілігі мұнайды қосқанда айтарлықтай өсті. Біріккен пиролиз температурасының жоғарылауымен температура шыңы (507-443 °C) 2-ші кезең және температура шыңы (713-666 °C) болатын 3-кезең байқалды.

3. Реактордың пиролизінен және TG-DTG-DSC термиялық талдауынан алынған тәжірибелік деректерді талдау көмір/мұнай қатынасы = 20%/80% болғанда айтарлықтай оң синергетикалық әсер байқалатынын көрсетті, бұл кезде ең көп салмақ жоғалту және DTG_{max} мәндерінің жоғарылауы байқалады. Оның үстіне тек осы көмір/мұнай қатынасында ғана тәжірибелік гудрон мен газдың шығымы теориялық шығымнан жоғары болды (1-сурет), ал тәжірибелік TG-DTG қисықтары теориялық TG-DTG қисықтарынан төмен орналасқан (2-сурет). Мұндай қасиет, әдетте, көмірсутек шикізатының физикалық-химиялық сипаттамаларының күшті айырмашылығына байланысты болуы мүмкін.

Қаржыландыру: *Бұл жұмыс Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды. Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі (Жоқ.BR21882171«SDG 9.4: Минералды шикізатты және қалдықтарды пиролиз арқылы өңдеу арқылы Қазақстанда «жасыл» экономиканы дамыту»).*

Әдебиеттер

1. Garside M. Global proven coal reserves by country 2020. - 2025. URL: www.statista.com/statistics/237096/proven-coal-reserves-of-the-top-ten-countries/.- Date of address: 02.04.2025.

2. Katalambula H., Gupta R. Low-Grade Coals: A Review of Some Prospective Upgrading Technologies // Energy & Fuels. - 2009. - Vol.23(7). - P. 3392–3405. DOI 10.1021/ef801140t.

3. Zhou J., Wu L., Liang K., Zhou J., Zhang Q., Song Y., Tian Y., Lan X. Spectroscopic Analysis of Products from Low-Rank Coal Microwave Pyrolysis: Effect of Reaction Atmosphere// Journal of Applied Spectroscopy. - 2020. -Vol.87. -P.745-752. DOI 10.1007/s10812-020-01064-5.

4. Liu Y., Yao Q., Sun M., Ma X. Catalytic fast pyrolysis of coal tar asphaltene over zeolite catalysts to produce high-grade coal tar: an analytical Py-GC/MS study// Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. - 2021. - Vol.156. - 105127. DOI 10.1016/j.jaap.2021.105127.

5. Che Y., Shi K., Cui Z., Liu H., Wang Q., Zhu W., Tian Y.. Conversion of low temperature coal tar into high value-added chemicals based on the coupling process of fast pyrolysis and catalytic cracking // Energy. – 2023. -Vol. 264(4). - Article 126169. DOI 10.1016/j.energy.2022.126169.

6. Ma Z.-H., Wei X.-Y., Liu G.-H., Liu F.-J., Zong Z.-M. Value-added utilization of high-temperature coal tar:A review//Fuel.-2021.-Vol.292(6):119954. DOI 10.1016/j.fuel.2020.119954.

7. Hu G., Li J., Zhang X., Li Y. Investigation of waste biomass co-pyrolysis with petroleum sludge using a response surface methodology // Journal of Environmental Management.-2017.-P.234-242. DOI 10.1016/j.jenvman.2017.01.069.

8. Soncini R., Means N., Weiland N. Co-pyrolysis of low rank coals and biomass: Product distributions // Fuel.-2013.-Vol.112. -P.74-82. DOI 10.1016/j.fuel.2013.04.073.

9. Yin N., Song Y., Lei W., Dong P., Wang C., Zhou J., Zhang X. Analysis of tar and pyrolysis gas from low-rank coal pyrolysis assisted by apple branch // Journal Renewable Sustainable Energy.-2023.-Vol.15:043102. DOI 10.1063/5.0156660.

10. Li Y., Huang S., Wang Q., Li H., Zhang Q., Wang H., Wu Y., Wu S., Gao J. Hydrogen transfer route and interaction mechanism during co-pyrolysis of Xilinhot lignite and rice husk // Fuel Processing Technology.-2019. -Vol.192. - P.13-20. DOI 10.1016/j.fuproc.2019.04.022.

11. Huang Y., Wang N., Liu Q., Wang W., Ma X. Co-pyrolysis of bituminous coal and biomass in a pressured fluidized bed // Chinese Journal of Chemical Engineering.-2019. -Vol.27(7). - P.1666-1673. DOI 10.1016/j.cjche.2019.03.012.

12. Song Y., Yin N., Yao D., Ma Q., Zhou J., Lan X. Co-pyrolysis characteristics and synergistic mechanism of low-rank coal and direct liquefaction residue // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects.-2019.-Vol.41(2).-P.2675-2689. DOI 10.1080/15567036.2019.1568639.

13. Xu J., Bai Z., Bai J., Kong L., Lv D., Han Y., Dai X., Li W.. Physico-chemical structure and combustion properties of chars derived from co-pyrolysis of lignite with direct coal liquefaction residue // Fuel. - 2017. - P.187:103-110. DOI 10.1016/j.fuel.2016.09.028.

14. Yin N., Song Y., Zhou J., Tian Y., Yang A. Effects of Direct Coal Liquefaction Residue Additions on Low-Rank Pulverized Coal during Co-Pyrolysis // Materials Science Forum. - 2020. - Vol.999.- P.167-177. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.999.167.

15. Su T., Song Y., Lan X. Product Characteristics and Interaction Mechanism in Low-Rank Coal and Coking Coal Co-Pyrolysis Process // Journal of Chemical Engineering of Japan. - 2020. - Vol.53(4). DOI 167-176. 10.1252/jcej.18we172.

16. Miao Z.-Y., Wu G.-G.; Li P., Meng X.-L., Zheng, Z.-L. Investigation into co-pyrolysis characteristics of oil shale and coal // International Journal of Mining Science and Technology. - 2012. - Vol.22(2). - P. 245-249. DOI 10.1016/j.ijmst.2011.09.003.

17. Liu N., Huang H., Huang X., Li R., Feng J., Wu Y. Co-pyrolysis Behavior of Coal and Biomass Synergistic Effect and Kinetic Analysis // ACS OMEGA. - 2024. - Vol.9(29). -P.31803-31813. DOI 10.1021/acsomega.4c03053.

18. Zhang Q., Zhang S., Liu J., Li J., Liu J., Zhoua J., Wu L. Catalytic upgrading of volatiles in co-pyrolysis of coal and biomass by Mo-MFI molecular sieves // RSC Advances. - 2023. - Vol.13(48). - P. 33852-33862. DOI 10.1039/d3ra06925g.

19. Wang B., Liu N., Wang S., Li X., Li R., Wu Y. Study on Co-Pyrolysis of Coal and Biomass and Process Simulation Optimization. Sustainability. - 2023.- Vol.15(21):15412. DOI 10.3390/su152115412.

20. Gouws S., Carrier M., Bunt J., Neomagus H. Co-pyrolysis of coal and raw/torrefied biomass: A review on chemistry, kinetics and implementation // Renewable and Sustainable Energy Reviews.- 2021.-Vol. 135:110189. DOI 10.1016/j.rser.2020.110189.

21. Abnisa F., Ashri W.M. A review on co-pyrolysis of biomass: An optional technique to obtain high-grade pyrolysis oil // Energy Conversion and Management. - 2014.- Vol.87.- P.71-85. DOI 10.1016/j.enconman.2014.07.007.

22. Aboyade A., Carrier M., Meyer E., Knoetze H., Görgens J. Slow and pressurized co-pyrolysis of coal and agricultural residues // Energy Conversion and Management. - 2013. - Vol.65. - P.198-207. DOI 10.1016/j.enconman.2012.08.006.

23. Mushtaq F., Mat R., Ani F. A review on microwave assisted pyrolysis of coal and biomass for fuel production // Renewable Sustainable Energy Reviews.- 2014. - Vol.39.- P.555-574. DOI 10.1016/j.rser.2014.07.073.

24. Hu G., Li J., Zhang X., Li Y. Investigation of waste biomass co-pyrolysis with petroleum sludge using a response surface methodology // Journal of Environmental Management. - 2017. - Vol.192. - P. 234-242. DOI 10.1016/j.jenvman.2017.01.069.

25. Chen X., Liu L., Zhang L., Zhao Y., Qiu P., Ruan R., A review on the properties of copyrolysis char from coal blended with biomass // Energy Fuels.-2020.-Vol.34(4).-P.3996-4005. DOI 10.1021/acs.energyfuels.0c00014.

26. Saeed S., Saleem M., Durrani A. Thermal performance analysis and synergistic effect on co-pyrolysis of coal and sugarcane bagasse blends pretreated by trihexyltetradecylphosphonium chloride // Fuel.-2020. - Vol.278:118240. DOI 10.1016/j.fuel.2020.118240.

27. Feng W., Zheng M., Jin L., Bai J., Kong L., Li H., Bai Z., Li W. Co-pyrolysis behaviors of coal and polyethylene by combining in-situ Py-TOF-MS and reactive molecular dynamics // Fuel. - 2023. - Vol. 331(1-2):1125802. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125802.

28. Jelita R., Iryanti F., Irawan C., Jefriadi, Hafiz M., Angreini I., Meilana D. Characterization and comparative study of pyrolysis of low rank coal and biomass // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. - 2024. - Vol.59(1). - P. 73-80. DOI 10.59957/jctm.v59.i1.2024.8.

29. Brat Z., Janković B., Stojiljkovic D., Radojevic M., Manic N. The assessment of synergistic effect on performing the co-pyrolysis process of coal and waste blends based on thermal analysis // Thermal Science.- 2022.-Vol.26(3). - P.2211-2224. DOI 10.2298/TSCI210516310B.

30. Zhang P., Chen Z., Zhang Q., Zhang S., Ning X., Zhou J. Co-pyrolysis characteristics and kinetics of low metamorphic coal and pine sawdust // RSC Advances. - 2022. - Vol.12(34). -P. 21725-21735. DOI 10.1039/d2ra02461f.

31. Wu, Z., W. Yang, X. Tian, Yang B. Synergistic effects from co-pyrolysis of low-rank coal and model components of microalgae biomass // Energy Conversion and Management. -2017. - Vol.135. - P.212-225. DOI 10.1016/j.enconman.2016.12.060.

32. Huang Y., Wang N., Liu Q., Wang W., Ma X. Co-pyrolysis of bituminous coal and biomass in a pressured fluidized bed // Chinese Journal of Chemical Engineering.- 2019.-Vol. 27(7). - P.1666-1673. DOI 10.1016/j.cjche.2019.03.012.

33. Yermagambet B.T., Kassenova Zh.M., Nurgaliyev N.U., Kazankapova M.K., Martemyanov S.M. Calculation of Kinetic Parameters of Thermal Decomposition of Coals of Various Deposits of Kazakhstan. News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan // Series of Geology and Technical Sciences.-2020.-Vol.4 (442).- P.86-93. DOI 10.32014/2020.2518-170X.88.

34. Song Y., Yin N., Yao D., Ma Q., Zhou J., Lan X. Co-pyrolysis characteristics and synergistic mechanism of low-rank coal and direct liquefaction residue // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects.-2019.-Vol.41(2).-P.1-15. DOI 10.1080/15567036.2019.1568639.

35. Song Y., Ma Q., He W. Co-pyrolysis Properties and Product Composition of Low-Rank Coal and Heavy Oil // Energy & Fuels. - 2016. - Vol.31(1).- P.217-223. DOI 10.1021/acs.energyfuels.6b02106.

36. Lin B., Huang Q., Chi Y. Co-pyrolysis of oily sludge and rice husk for improving pyrolysis oil quality // Fuel Processing Technology.- 2018.-Vol.177.- P.275-282. DOI 10.1016/j.fuproc.2018.05.002.

37. Ning Y., Yonghui S., Zhou J., Tian Y. Effects of Direct Coal Liquefaction Residue Additions on Low-Rank Pulverized Coal During Co-Pyrolysis // Materials Science Forum. - 2020. -Vol.999. - P.167-177. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.999.167.

38. Liu N., Huang H., Huang X., Li R., Feng J., Wu Y. Co-pyrolysis Behavior of Coal and Biomass: Synergistic Effect and Kinetic Analysis // ACS Omega.-2024. -Vol.9(29). P.31803-31813. DOI 10.1021/acsomega.4c03053.

Авторлар туралы мәліметтер

Нургалиев Н.У. х.ғ.к., қауымдастырылған профессор (доцент), К. Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Айбульдинов Е.К.- PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Жаңа химиялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, К. Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: elaman_@mail.ru;

Искакова Ж.Б.- х.ғ.к., қауымдастырылған профессор (доцент), Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Жаңа химиялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан, e-mail: iskakova_zhb@enu.kz;

Колпек А.- х.ғ.к., қауымдастырылған профессор (доцент), Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: kolpek_a@enu.kz;

Берденов Ж. Г.- PhD, қауымдастырылған профессор (доцент), Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстане-mail: berdenov-z@mail.ru;

Сабитов А. С. -докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: sabitovas1@enu.kz;

Копишев Э.Е.- химия ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: eldar_kopishev@mail.ru;

Машан Т.Т.- х.ғ.к., профессор м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: togzhan-mashan@mail.ru;

Кусепова Л.А.- х.ғ.к., доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, 010008; e-mail: kussepova_la@enu.kz;

Абдиюсупов Г.Г.- менеджер, ТОО «CCS Services - Central Asia», Алматы, Қазақстан, e-mail: gaziz_86@inbox.ru;

Information about the authors

Nurgaliyev N.U.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Aybuldinov E.K.- PhD, Chief Researcher at the Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Kazakhstan, Astana, e-mail: elaman_@mail.ru;

Iskakova Zh.B.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanariskakova@mail.ru;

Kolpek A.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor,L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, e-mail: aynagulk@mail.ru;

Berdenov Zh.G.- PhD, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, e-mail: berdenov-z@mail.ru;

Sabitov A.S.- Doctoral student, Department of Chemistry, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, e-mail: sabitov_as_1@enu.kz;

Kopishev E.Ye.-Candidate of Chemical Sciences, , L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: eldar_kopishev@mail.ru;

Mashan T.T. -Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, e-mail: togzhan-mashan@mail.ru;

Kusepova L.A.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, Astana, e-mail: kusepova71@mail.ru;

Abdiyussupov G.G.- Manager, CCS Services - Central Asia LLP, Kazakhstan, Almaty, e-mail: gaziz_86@inbox.ru.

ҒТАМР 61.35.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-969**

КЕРАМИКАЛЫҚ БҰЙЫМДАРДЫ ГЛАЗУРЬЛЕУ ҮДЕРІСІНДЕ ЖЕРГІЛІКТІ ТАБИҒИ ШИКІЗАТТЫ ҚОЛДАНУ МҮМКІНДІКТЕРІН ЗЕРТТЕУ

[1]С. Сатаева, [1]Ф. Ахметова✉, [1]Д. Назарова, [2]Э. Жунусова, [3]А. Кажимова, [4]Т. Өтепова, [1]А. Пшенбаев

[1]Жәңгірхан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан,
[2]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технологияжәне бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Қазақстан инновациялық және телекоммуникациялық жүйелер университеті, Орал, Қазақстан,
[4]М. Өтемісұлы атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан
✉*Корреспондент-автор: firuza.92@mail.ru*

Шыны - құрылыс саласы мен күнделікті тұрмыста кеңінен қолданылатын маңызды материалдардың бірі. Шыны бұйымдарына деген сұраныс жыл сайын артып келеді, бұл өз кезегінде шыны өнеркәсібінің өндіріс көлемін ұлғайтуға және олардың сапасын сақтауға жетелейді. Шыны өндірісіндегі ғылыми-техникалық жетістіктер оның қолдану аясын кеңейтуде үлкен рөл атқарды. Өндірудің жаңа әдістері мен қолданылып жүрген технологиялық процестерді жетілдіру тәсілдері пайда болып, шыны қолданудың жаңа аймақтары ашыла бастады. Өнімнің химиялық құрамын өзгерту арқылы әртүрлі шыны түрлері жасалды. Осы орайда, әртүрлі қасиеттері бар шыныларды алу әдістерін зерттеу маңызды болып табылады. Түрлі бұйымдарды өндіру үшін түсті шыны композициясын зертханалық жағдайда дайындап, оның физика-химиялық қасиеттерін зерттеу жүргізілді. Зерттеу нәтижелері бойынша алынған түсті шынының сәндік мақсаттарда қолдануға болатындығы анықталды.

Түйін сөздер: түсті шыны, шыны шихтасы, құм, сода, сөндірілген әк, термиялық тұрақтылық, химиялық тұрақтылық.

RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF USING LOCAL NATURAL RAW MATERIALS IN THE GLAZING PROCESS OF CERAMIC PRODUCTS

[1]S. Satayeva, [1]F. Akhmetova✉, [1]D. Nazarova, [2]Ye. Zhunusova, [3]A. Kajimova, [4]T. Utepova, [1]A. Pshenbayev

[1]Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Uralsk, Kazakhstan,
[2]Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,
[3]Kazakhstan University of Innovation and Telecommunication Systems, Uralsk, Kazakhstan,
[4]West Kazakhstan University named after M. Utemisova,Uralsk, Kazakhstan,
e-mail: firuza.92@mail.ru

Glassisone of the most important materials widely used in the construction industry and everyday life.The demand for Glass Products is growing every year, which, in turn, leads the glass industry to increase production volumes and maintain their quality.Scientific and technological advances in glass production have played a huge role in expanding the scope of its application.Newproductionmethodsand approaches to improving the existing technological processes appeared, and new areas of application of glass began to open up.By changing the chemical composition of the product, various types of glass were created.In this regard, it is important to study the methods of obtaining glass with different properties.For the production of various products, a study of its physico-chemical properties was carried out, preparing a composition of colored glass in laboratory conditions.According to the results of the study, it was found that the resulting colored glass can be used in decorative purposes.

Keywords: colored glass, glass charge, sand, soda, slaked lime, thermal stability, chemical stability.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНОГО ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ В ПРОЦЕССЕ ГЛАЗИРОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

[1]С. Сатаева, [1]Ф. Ахметова✉, [1]Д. Назарова, [2]Э. Жунусова, [3]А. Кажимова, [4]Т. Өтепова, [1]А. Пшенбаев

[1]Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангирхана,Уральск, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3]Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем, Уральск, Казахстан,
[4]Западно-Казахстанский университет им.М.Утемисова, Уральск, Казахстан,
e-mail: firuza.92@mail.ru

Стекло - один из важнейших материалов, широко используемых в строительстве и быту. Спрос на стекольную продукцию увеличивается с каждым годом, что в свою очередь приводит к увеличению объемов производства стекольной промышленности и сохранению ее качества. Научно-технические достижения в производстве стекла сыграли большую роль в расширении сферы его использования. Появились новые методы производства и пути совершенствования существующих технологических процессов, стали открываться новые области применения стекла. Различные виды стекла создавались путем изменения химического состава продукта. В связи с этим важно изучение методов получения стекол с различными свойствами. Состав цветного стекла был приготовлен в лабораторных условиях для производства различной продукции и изучены его физические и химические свойства. По результатам исследований установлено, что полученное цветное стекло можно использовать в декоративных целях.

Ключевые слова: цветное стекло, стекольная шихта, песок, сода, гашеная известь, термостойкость, химическая устойчивость.

Кіріспе. Шыны құрамында сілтілік металдар оксидтерінің (Na_2O, K_2O) болуы оның термиялық және химиялық тұрақтылығын, механикалық және диэлектрлік қасиеттерін, сонымен қатар балқыманың тұтқырлығын және шыны пісіру температурасын төмендетеді [1]. Шынының құрамындағы сілтілік металдар оксидтерінің мөлшері 14-15%-дан аспайды. Натрий оксидін кальцинирленген сода және натрий сульфатын қолдану арқылы, ал калий оксидін поташ, селитра арқылы енгізеді. Кальцинирленген сода – шыныға натрий оксидін енгізуде негізгі материал. Суда жақсы еритін ақ түсті ұнтақ. Шыны пісіру процесінде сода натрий оксидіне және көмірқышқыл газына ыдырайды. Натрий сульфаты Na_2SO_4 шыны пісіру кезінде қиын ыдырайды. Сол себепті шихтаға көміртекті тотықсыздандырғыштар (көмір, ағаш үгінділері) қосады. Натрий сульфатын шихта құрамына қосудағы мақсаты кальцинирленген соданы алмастыру емес, шыны пісіру процесін жеңілдету болып табылады. Поташ K_2CO_3 68,2% K_2O және 31,8% CO_2-ден тұрады. Суда оңай еритін жасанды ақ түсті қосылыс. Шыны алуда кальцинирленген поташ пайдаланылады. Натрий оксиді орнына калий оксидін қолдану шынының мөлдірлігін және жылтырлығын арттырады [2,3].

Шынының құрамында Al_2O_3 болуы оның химиялық, механикалық және термиялық тұрақтылығын жақсартады, балқу температурасын жоғарылатады. Алюминий оксидін қосу үшін техникалық алюминий оксидін, алюминий гидроксидін $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$, дала шпатын, пегматиттер, каолиндер және т.б. қолданылады[4].

Шыны балқытуда қолданылатын шикізат материалдары шихта жасауға әрдайым дайын күйде болмайды. Сондықтан оларды дайындау үшін түрлі операциялар жүргізіледі. Алдымен шикізат құрамы зиянды қоспалардан тазартылады. Кейін қажет болған жағдайда ұнтақ күйіне айналдырылады. Кейбір материалдар кептіріледі, майдаланады, електен өткізіледі және байытылады [5,6].

Құрамында магний карбонаты бар төрткомпонентті шихтадағы реакциялар үшкомпонентті шихтадағыға қарағанда төмен температурада жүреді. Бұнда балқыма тез түзіліп, қиын эвтектиктер әдеттегіден төмен температурада балқиды [7-9]. Осыдан байқағанымыздай, шыны құрамының компоненттерінің көп болуы силикат түзуді тездетеді, әрі жеңілдетеді. Сондықтан шыны құрамы компоненттерінің санын көбейту жеңіл балқитын шыны алудың бір тәсілі болып табылады[10].

Натрий сульфаты өздігінен кремнеземмен әрекеттесуі өте баяу және қиын жүреді:

$$Na_2SO_4 + SiO_2 = Na_2SiO_3 + SO_2 + \frac{1}{2}O_2$$

Реакция 1200 ºС температурада тез өтеді, сондықтан натрий сульфатын тотықсыздандыру қажеттігі туындайды [11]. Ол үшін шихтаға көмір түрінде көміртегін, ағаш үгінділерін қосады. Көміртегінің әсерінен Na_2SO_4 натрий сульфидіне Na_2S дейін тотықсызданады:

$$Na_2SO_4 + 2C = Na_2S + 2CO_2$$

$$Na_2S + Na_2SO_4 + 2SiO_2 = 2(Na_2O \cdot SiO_2) + SO_2 + S$$

$$Na_2S + CaCO_3 + Na_2SO_4 + 3SiO_2 = 2(Na_2O \cdot SiO_2) + CaO \cdot SiO_2 + CO_2 + SO_2 + S$$

Шихтада сонымен қатар жанама реакциялар жүреді. Көбінесе натрий сульфиді сода мен натрий гидроксидін түзеді:

$$Na_2S + CaCO_3 = Na_2CO_3 + CaS$$

$$Na_2CO_3 + SiO_2 = Na_2O \cdot SiO_2 + CO_2$$

$$Na_2S + 2H_2O = 2NaOH + H_2S$$

Соңғы реакция практикалық маңызды. Себебі, натрий гидроксиді кремний қышқылымен белсенді әрекеттеседі [12].

Шыныға түс беру нәтижесінде пайда болған түсті шынылар жылудан, күннен қорғайтын және декоративті мақсатта қолданылады. Сигналды түсті шыны өндірісі кезінде олар белгілі диапазонда спектрдің (қызыл, жасыл,сары, көк,т.б.) өтуін анықтайды.Бағалы тастарды алмастыру кезінде шынының түсі табиғи тастардың (рубин, аметист,сапфир,т.б.) түсіне жақын болуы қажет. Тұрмыстық көркем бұйымдар, моншақтар, витраждық плиткалар жасауда түсті шынылар декоративтік мақсатта қолданылады. Ыдыстар жасауда қолданылатын түсті шынылар қорғаныштық қызмет атқарады. Яғни, тамақ өнімдерін немесе дәрілік препараттарды ультракүлгін сәулелердің және жақын спектрлердің зиянды әсерлерінен қорғайды [13].

Температураның жоғарылауы тепе-теңдікті төмен валентті иондар жағына қарай ығыстырады, яғни оларды тотықсыздандырады. Негізділікті жоғарылату (R_2O концентрациясын арттыру арқылы) тепе-теңдікті валенттілігі жоғары иондар жағына қарай ығыстырады. Li_2O – Na_2O – K_2O оксидтер қатарында K_2O-нің негізділік қасиеті жоғары. Шыны түзуші оксидтер P_2O_5 – B_2O_3 – SiO_2қатарында P_2O_5-тің қышқылдық қасиеті жоғары. Осыған орай фосфатты шыныларда иондар силикатты шыныларымен салыстырғанда төмен валентті күйде болады [14].

Шынының термиялық қасиеттері оның қыздыру немесе суыту нәтижесінде өзгеріске ұшырау мүмкіндігін сипаттайды. Бұл қасиеттеріне шынының термиялық тұрақтылығы, жылу сыйымдылығы, жылу өткізгіштігі, жылулық кеңейтілуі жатады.

Материалдар мен әдістер. Шынының термиялық тұрақтылығын анықтау МемСТ 25535-2013 стандарты бойынша жүргізілді. Стандартқа сай шынының термиялық тұрақтылығын анықтау әдістері шыныны қыздыру және салқындату арқылы, қыздыратын және салқындататын ортаның температура айырмашылығын есепке ала отырып анықтауға негізделген.

Үлгілерді сынаққа дайындау. Сынақ өлшемі 150х150 мм болатын дайын бұйымда немесе үлгіде жүргізіледі. Сынақ жүргізу үшін алдын ала механикалық және термиялық өңдеуден өтпеген үлгілер алынады. Сынақ жүргізу алдында үлгілер температурасы 18ºС-тан кем емес сынақ жүргізілетін орында 30 минут бойы ұсталады.

Сынақ жүргізуге қажетті құрал-жабдықтар:

1) Ыстық су құйылған резервуар. Резервуардағы су үнемі ауыстырылып тұрылуы қажет. Резервуардағы судың температуралық ауытқуы 1ºС-тан аспауы қажет. Судың көлемі сыналатын үлгілер мөлшерінен 2 есе көп болуы керек.

2) Температурасын өзгерту мүмкіндігі бар, 350ºС-қа дейін қыздырылатын электрлік пеш. Пештің температурасының белгіленген температурадан ауытқуы 1 ºС-тан аспауы қажет.

3) Салқын суы бар резервуар. Резервуардағы су ауыстырылып отыруы қажет. Судың температурасының ауытқуы 1 ºС-тан аспауы қажет. Резервуардағы судың көлемі үлгілердің мөлшерінен 5 есе көп болуы керек.

4)Өлшеу қателігі ±1 ºС болатын температураны өлшеуге арналған құрылғы.

5)Үлгілерді тасымалдауға арналған ыдыстар.

6)Үлгілерді тасымалдауға қолданылатын ұстағыштар.

Зерттеу жүргізілетін орынның температурасы 18 ºС-тан төмен болмауы керек. Резервуардағы салқын судың температурасы 5-27 ºС аралығында болуы қажет. Сынақ жүргізу кезінде қыздыратын және салқындататын ортаның температурасы сынақтың мақсатына және үлгінің мүмкін болатын термиялық тұрақтылығын ескере отырып белгіленеді.

Нәтижелер және талқылау. Шынылардың суға тұрақтылығын шыны ұнтағын суда қайнату немесе қышқыл ерітінділерінде, ерітіндегі ауысқан сілті және т.б. компоненттердің мөлшерімен анықтайды. Шынының химиялық тұрақтылығын бағалауда Миллиустың классификациясы қолданылады. Миллиус әр түрлі шынылардың химиялық тұрақтылығын анықтауда оларды бес гидролиттік класқа жіктеді.

Бірінші құрамдағы шыны құрамы: PbO – 40% , SiO_2 – 30%, CaO – 7%, ZnO – 1%, Na_2O – 8%, K_2O – 7%, B_2O_3 – 7%. Белгіленген шыны құрамына сай шихта құрамына кіретін шикізат мөлшері есептелді:

1 - кесте. Шынылардың гидролиттік класы

Гидролиттік класс	**Шыны**	**Жұмсалған 0,01 н HCl ерітіндісінің мөлшері (мл)**
1	суда өзгермейтін	0-0,32
2	тұрақты	0,32-0,65
3	қатты аппараттық	0,65-2,8
4	жұмсақ аппараттық	2,8-6,5
5	қанағаттанарлықсыз	6,5 және одан жоғары

2 - кесте.100 г шыны алу үшін шынының теориялық құрамы

Шихта құрамы		**Шыны құрамына өтетін оксидтер мөлшері, %**						
Шикізат	Массасы, г	PbO	SiO2	CaO	ZnO	Na2O	K2O	B2O3
PbO	40	40	-	-	-	-	-	-
SiO2	30	-	30	-	-	-	-	-
Ca(OH)2	9,25	-	-	7	-	-	-	-
ZnO	9,25	-	-	-	1	-	-	-
Na2CO3	14,36	-	-	-	-	8	-	-
K2CO3	10,78	-	-	-	-	-	7	-
H3BO3	12,43	-	-	-	-	-	-	7

Барлығы	117,82	40	30	7	1	8	7	7

PbO	40 г
SiO2	30 г
Ca(OH)2	9,25 г
ZnO	1 г
Na2CO3	14,36 г
K2CO3	10,78 г
H3BO3	12,43 г
Барлығы	117,82 г

Екінші құрамдағы шыны құрамы: SiO_2 – 25%, CaO – 8%, ZnO – 1%, Na_2O – 10%, B_2O_3 – 6%:

SiO2	25 г
Ca(OH)2	10,56 г
ZnO	1 г
Na2CO3	17,94 г
H3BO3	10,31 г
Барлығы	64,81 г

3 - кесте.50 г шыны алу үшін шынының теориялық құрамы

Шихта құрамы		**Шыны құрамына өтетін оксидтер мөлшері, %**				
Шикізат	Массасы, г	SiO2	CaO	ZnO	Na2O	B2O3
SiO2	25	25	-	-	-	-
Ca(OH)2	10,56	-	8	-	-	-
ZnO	1	-	-	1	-	-
Na2CO3	17,94	-	-	-	10	-
H3BO3	10,31	-	-	-	-	6
Барлығы	64,81	25	8	1	10	6

Түсті шыны алу үшін есептелген шыны құрамына сәйкес дайындалған шихта құрамына түс беретін қосылыстар қосылды. Түсті шыны алу кезінде түс беретін қосылыс ретінде тек металдар оксидтері ғана емес, түс беретін металдың тұздары да қолданылды. Шыны алу процесі барысында екі түрлі құрамдағы шыны шихтасы тигельдерге салынып, қажетті температурасы белгіленген пешке салынды. Температура қажетті деңгейге жеткеннен кейін 20-30 минут бойы шыны пісіру процесі жүрді. Процесс нәтижесінде бірінші құрамдағы шихтадан 800-900ºС аралығында түсті шыны алынды. Ал екінші құрамдағы шихтадан шыны 1000-1100 ºС-та дайын

болды. Алынған екі түрлі құрамдағы шыныларды одан ары қарай физика-химиялық қасиеттерін талдау жұмыстары жүргізілді.

Алынған түсті шынының термиялық тұрақтылығын анықтау екінші әдіс бойынша көп реттік сынақ жүргізілді.

Бірінші құрамдағы шынының термиялық тұрақтылығын анықтау барысында мүмкін болатын термиялық тұрақтылығы 90 ºС–тан басталды. Одан ары қарай әрбір қайталау кезінде пештің температурасы 10ºС–қа көтеріліп отырды. Нәтижесінде температура 140 ºС–қа жеткенде шынының сыртқы көрінісінде өзгерістер байқалды. Температура 160 ºС болған кезде шыны үлгісі бөлшектерге бөлінді.

Екінші құрамдағы шынының термиялық тұрақтылығы:

$$\Delta T = 200^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C} = 182^{\circ}\text{C}$$

Бірінші және екінші құрамдағы шынының химиялық тұрақтылығын анықтау нәтижесі бойынша титрлеуге кеткен тұз қышқылының мөлшерін есептей отырып, үшінші гидролиттік класқа жататындығы анықталды.

4 - кесте. Бірінші және екінші құрамдағы шынының химиялық тұрақтылығын анықтау нәтижесі

Химиялық тұрақтылығы	**HCl ерітіндісінің көлемі, мл**	**Гидролиттік класс**
Бірінші құрамдағы шыны	0,9	3
Екінші құрамдағы шыны	1,5	3

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулерге сәйкес зертханалық жағдайда түрлі бұйымдар өндірісінде қолданылатын шыны құрамы бойынша келесі қорытынды жасалды: дайындалған шихтадан құрамына түс беретін қосылыстарды қосу нәтижесінде түсті шыны алынды. Бірінші құрамдағы түсті шыны 800-900 ºС-та, ал екінші құрамдағы шыны 1000-1100 ºС-та дайын болды. Алынған түсті шынылардың физика – химиялық қасиеттері зерттеліп, термиялық және химиялық тұрақтылығы анықталды. Зерттеу нәтижесі бойынша бірінші құрамдағы шынының термиялық тұрақтылығы 140-160 ºС аралығында, химиялық тұрақтылығы бойынша 3-гидролиттік класқа жатады. Екінші құрамдағы шынының термиялық тұрақтылығы 180-200 ºС шамасында, химиялық тұрақтылығы 3-гидролиттік класқа жататындығы анықталды.Алынған түсті шыныны қолдану аймағын анықтау барысында оны керамикалық бұйымдарды қаптауда қолданылатын глазурь ретінде қолдану мүмкіндігі қарастырылды.

Әдебиеттер

1. Bedon C., Zhang X., Santos F., Honfi D., Kozłowski M., Arrigoni M., Figuli L., Lange D. Performance of structural glass facades under extreme loads - design methods, existing research, current issues and trends // Construct and Building Matereterials.-2018. - Vol.163.- P.921–937. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.153

2. Silva A., de Brito J., GasparP.L. Service life prediction model applied to natural stone wall claddings (directly adhered to the substrate) // Construct and Building Matereterials. - 2011. - Vol.25 (9). - P.3674-3684. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2011.03.064

3. Cipriano-Crespo C., Freire-Paz E., Xavier Medina F. The cultural revalorisation of the ceramics of Talavera: From folk culture to haute cuisine // International Journal of Gastronomy and Food Science.2023.- Vol.32(3): 100683. DOI 10.1016/j.ijgfs.2023.100683

4. Ferreira A., Silva J., de Brito, Dias I.S., Flores-Colen I. Definition of a condition-based model for natural stone claddings // Journal of Building Engineering.-2021.- Vol.33:101643 DOI 10.1016/j.jobe.2020.101643

5. Fusaro A., Esparraguera J.M., Gil E.A., Agudo P.U., Pajas J.A., Pidaev Sh. Islamic ancient Termez: An active and long-established ceramic manufacturing centre along the silk road // Archaeological Research in Asia. - 2022. - Vol.31:100375 DOI 10.1016/j.ara.2022.100375

6. Matin M., Tite M., Watson O. On the origins of tin-opacified ceramic glazes: New evidence from early Islamic Egypt, the Levant Mesopotamia, Iran, and Central Asia // Journal of Archaeological Science.-2023.-Vol. 97. - P.42- 66. DOI 10.1016/j.jas.2018.06.011

7. Contini G., Peruzzini M., Bulgarelli S., Bosi G. Developing key performance indicators for monitoring sustainability in the ceramic industry: The role of digitalization and industry 4.0 technologies//Journal of Cleaner Production.- 2023.-Vol.414:137664. DOI 10.1016/j.jclepro.2023.137664

8. Yeleuov M., Akymbek Y., Chang C. Sphero-conical vessels of Aktobe medieval ancient settlement // Life Science Journal.-2014. -Vol.11.-P. 384 - 387. DOI 10.7498/aps.63.224101

9. Shameri M.A., Alghoul M.A., Sopian K., Zain M.F.M., Elayeb O. Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving // Renewable and Sustainable Energy Reviews. − 2011.-Vol.15 (3).- P.1468 - 1475. DOI 10.1016/j.rser.2010.10.016

10. Montazerian M., Baino F., Fiume E., Migneco C., Alaghmandfard A., Sedighi O., DeCeanne A. V., Wilkinson C. J., Mauro J. C. Glass-ceramics in dentistry: Fundamentals, technologies, experimental techniques, applications, and open issues // Progress in Materials Science. - 2023. - Vol.132. DOI 10.1016/j.pmatsci.2022.101023

11. Pereira C., de Brito J., Silvestre J.D. Contribution of humidity to the degradation of façade claddings in current buildings // Engineering Failure Analysis.- 2018.- Vol.90.- P.103 - 115. DOI 10.1016/j.engfailanal.2018.03.028

12. Ochen W., D' Ujanga F.M., Oruru B., Olupot P.W. Physical and mechanical properties of porcelain tiles made from raw materials in Uganda //Results in Materials.- 2021.-Vol.11:100195 DOI 10.1016/j.rinma.2021.100195

13. Ji R., Zhang Z., Yan C., Zhu M., Li Z. Preparation of novel ceramic tiles with high Al2O3 content derived from coal fly ash // Construct and Building Matereterials.- 2016.-Vol.114.- P.888 - 895. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.014

14. Tite M., Mason R. The Beginnings of Islamic Stonepaste Technology // Archaeometry. − 1994.-Vol.36.- P.77–91. DOI 10.1111/j.1475-4754.1994.tb01066.x

Авторлар туралы мәліметтер

Сатаева С.С.- химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Жәңгірхан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал қ., Қазақстан, e-mail: sataeva_safura@mail.ru;

Ахметова Ф.Ж. - PhD, аға оқытушы, Жәңгірхан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал қ., Қазақстан, e-mail: firuza.92@mail.ru;

Назарова Д.С. - техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Жәңгірхан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал қ., Қазақстан, e-mail: nazarova.ria@mail.ru;

Жунусова Э.Б. - техника ғылымдарының кандидаты, доцент м.а.,Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., Қазақстан, e-mail: tahmina.66@mail.ru;

Кажимова А.Ж. - білім магистрі, оқытушы, Қазақстан инновациялық және телекоммуникациялық жүйелер университеті, Орал қ., Қазақстан, e-mail: amina.aidana17@mail.ru;

Өтепова Т.А.- магистрант,М. Өтемісұлы атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал қ., Қазақстан, e-mail: tlekshi.utepova@mail.ru;

Пшенбаев А.Н.- магистрант, Жәңгірхан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал қ., Қазақстан, e-mail: asan12.12.12@mail.ru.

Information about the authors

Satayeva S.S.- Candidate of Chemical Sciences, ass.professor, Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Zhangirkhan street, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: sataeva_safura@mail.ru;

Akhmetova F.Zh. - PhD, senior lecturer of Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Zhangirkhan street, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: firuza.92@mail.ru;

Nazarova D.S. - Master of Technical Sciences, senior lecturer of Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Zhangirkhan street, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: nazarova.ria@mail.ru;

Zhunusova Ye.B.- Candidate of Technical Sciences, ass.professor, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: tahmina.66@mail.ru;

Kajimova A. Zh. - Master of Education, Lecturer, Kazakhstan University of Innovation and Telecommunication Systems, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: amina.aidana17@mail.ru;

Utepova T.A. - Master’ s student, West Kazakhstan University named after M. Utemisova, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: tlekshi.utepova@mail.ru;

Pshenbayev A.N.- Master’ s student, Zhangirkhan West-Kazakhstan agrarian technical university, Zhangirkhan street, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: asan12.12.12@mail.ru.

ҒТАМР 61.01.77 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1197**

НАНОХИМИЯ ЖӘНЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ СИМБИОЗЫ

[1]Г.М. Нұрғазина✉, [1]Д.А. Нургалиева, [2]С.Ж. Құдайбергенова

[1]Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан,
[2]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан
✉*Корреспондент-автор: ast.gulnar@mail.ru*

Бұл мақалада жасанды интеллект (ЖИ) пен нанохимияның тоғысындағы жаңа ғылыми бағыттар қарастырылады. Нанохимия атомдар мен молекулалардың наноөлшемдік деңгейдегі құрылымы мен қасиеттерін зерттейтін ғылым саласы ретінде жаңа функционалды материалдарды, катализаторларды және биомедициналық қолданбаларды дамытуға жол ашады. ЖИ болса күрделі деректерді өңдеу, модельдеу және болжау қабілеті арқылы дәстүрлі зерттеу әдістерін толықтырады. Машиналық оқыту алгоритмдері нанобөлшектердің қасиеттерін алдын ала болжауға, синтез процестерін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ЖИ деректерді талдау арқылы жаңа наноматериалдардың тұрақтылығын, реакциялық қабілетін бағалауда тиімді құралға айналуда. Нанохимия мен ЖИ симбиозы медицинада дәрі-дәрмек жеткізу жүйелерін жобалауға, энергетикада жоғары тиімді катализаторларды әзірлеуге, ал экологияда қоршаған ортаны қорғауға бағытталған наносорбенттерді таңдауға ықпал етеді. Бұл екі саланың бірігуі болашақта ғылым мен технология дамуының жаңа кезеңін қалыптастыратынын атап өтеді.

Зерттеу жұмысы ғылыми әдебиеттерге шолу, статистикалық деректерді талдау және модельдеу әдістеріне негізделді. Нанохимия мен жасанды интеллекттің тоғысуы ғылыми-зерттеу процесін жаңа деңгейге көтеретіні анықталды. Әдеби шолу мен модельдік талдаулар ЖИ алгоритмдерінің наноматериалдардың қасиеттерін болжауда, синтез процестерін оңтайландыруда және күрделі эксперименттік деректерді өңдеуде тиімді екенін көрсетті.

Түйін сөздер: нанохимия, нанотехнология, жасанды интеллект, нейрожелі, деректерді талдау, экология.

СИМБИОЗ НАНОХИМИИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

[1]Г.М. Нургазина✉, [1]Д.А. Нургалиева, [2]С.Ж. Кудайбергенова

[1]Международный университет Астана, Астана, Казахстан,
[2]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан,
e-mail: ast.gulnar@mail.ru

В данной статье рассматриваются новые научные направления на стыке искусственного интеллекта (ИИ) и нанохимии. Нанохимия как область науки, изучающая структуру и свойства атомов и молекул на наноуровне, открывает возможности для разработки новых функциональных материалов, катализаторов и биомедицинских приложений. Искусственный интеллект, в свою очередь, дополняет традиционные методы исследований благодаря своей способности обрабатывать сложные данные, моделировать и прогнозировать процессы. Алгоритмы машинного обучения позволяют заранее предсказывать свойства наночастиц, оптимизировать процессы синтеза. Кроме того, анализ данных с помощью ИИ становится эффективным инструментом для оценки стабильности и реакционной способности новых наноматериалов. Симбиоз нанохимии и ИИ способствует разработке систем доставки лекарств в медицине, созданию высокоэффективных катализаторов в энергетике, а также подбору наносорбентов, направленных на защиту окружающей среды в экологии. Отмечается, что интеграция этих двух областей формирует новый этап развития науки и технологий.

Исследование основано на обзоре научной литературы, анализе статистических данных и методах моделирования. Установлено, что взаимодействие нанохимии и искусственного интеллекта

выводит исследовательский процесс на новый уровень. Литературный обзор и модельные анализы показали эффективность алгоритмов ИИ в прогнозировании свойств наноматериалов, оптимизации синтеза и обработке сложных экспериментальных данных.

Ключевые слова: нанохимия, нанотехнология, искусственный интеллект, нейросеть, анализ данных, экология.

SYMBIOSIS OF NANOCHEMISTRY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

[1]G. Nurgazina✉, [1]D. Nurgalieva, [2]S. Kudaibergenova

[1]Astana International University, Astana, Kazakhstan,
[2]S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: ast.gulnar@mail.ru

This article explores emerging scientific directions at the intersection of artificial intelligence (AI) and nanochemistry. Nanochemistry, as a field that studies the structure and properties of atoms and molecules at the nanoscale, opens pathways for the development of new functional materials, catalysts, and biomedical applications. Artificial intelligence, in turn, complements traditional research methods through its ability to process complex data, perform modeling, and generate predictions. Machine learning algorithms make it possible to forecast nanoparticle properties in advance and optimize synthesis processes. Furthermore, AI-driven data analysis has become an effective tool for evaluating the stability and reactivity of new nanomaterials. The symbiosis of nanochemistry and AI contributes to the design of drug delivery systems in medicine, the development of highly efficient catalysts in energy, and the selection of nanosorbents for environmental protection in ecology. The integration of these two fields is highlighted as forming a new stage in the advancement of science and technology.

The study is based on a review of scientific literature, analysis of statistical data, and modeling methods. It was determined that the convergence of nanochemistry and AI elevates the research process to a new level. Literature review and model-based analyses demonstrated the effectiveness of AI algorithms in predicting nanomaterial properties, optimizing synthesis processes, and processing complex experimental data.

Keywords: nanochemistry, nanotechnology, artificial intelligence, neural network, data analysis, ecology.

Кіріспе. Қазіргі заманда ғылым мен технология қарқынды дамып, қоғамның барлық саласына елеулі өзгерістер енгізуде. Сол өзгерістердің ішінде жасанды интеллект (ЖИ) пен нанотехнологияның, соның ішінде нанохимияның тоғысуы ерекше маңызға ие. Бұл өзара ықпалдастық жаңа буын материалдарын, құрылғыларын және әдістерін жасап, энергетикадан бастап денсаулық сақтауға дейінгі ауқымды мәселелерді шешуге зор мүмкіндік береді.

Нанотехнология мен нанохимия наноөлшемдегі объектілердің қасиеттерін зерттеп, олардың негізінде жаңа функционалды материалдар жасауға бағытталған ғылыми-техникалық бағыттар болып саналады. Наноөлшем ауқымында материалдардың қасиеттері олардың кәдімгі макродеңгейдегі баламаларынан едәуір өзгеше болуы мүмкін. Мысалы, нанобөлшектер, нанотүтіктер мен нанокомпозиттер ерекше физикалық, химиялық әрі биологиялық сипаттарымен ерекшеленеді [1].

Нанохимияның негізгі мақсаты - наноөлшемде жүретін химиялық процестерді, реакцияларды зерттеу, сондай-ақ жаңа наноматериалдарды синтездеу және олардың құрылымын жетілдіру жолдарын табу. Бұл бағыт жаңа функционалды қосылыстарды құрастыруға, инновациялық технологиялардың пайда болуына негіз қалайды [2].

Материалдар мен әдістер. Зерттеу барысында соңғы онжылдықта жарық көрген ғылыми еңбектер мен монографиялар негізгі теориялық

негіз ретінде алынды [1–5]. Сонымен қатар, нанохимиялық тәжірибелерге қатысты BET (азоттың төмен температурада адсорбциясы), инфрақызыл (ИК) спектроскопиясы және атомдық-абсорбциялық спектроскопиядан алынған деректер модельдік талдау үшін пайдаланылды [6]. Жасанды интеллект әдістерінен машиналық оқыту, нейрондық желілер және Big Data талдау тәсілдері қолданылды. Нанохимия мен жасанды интеллекттің өзара ықпалдастығын зерттеу барысында теориялық талдау, аналитикалық тәсілдер және модельдеу әдістері кешенді түрде пайдаланылды.

Жасанды интеллект қазіргі ғылыми парадигмада адамның когнитивтік қабілеттерін модельдеуге арналған пәнаралық зерттеу саласы ретінде қарастырылады. Бұл бағытта алгоритмдер, теориялық негіздер және технологиялар жасалып, ақпаратты қабылдау, деректерді өңдеу мен талдау, тәжірибеден үйрену, болжау, пайымдау және шешім қабылдау сияқты қызметтер жүзеге асырылады [7].

Ғылыми тұрғыдан ЖИ жасырын заңдылықтарды анықтауға, білімді құрылымдауға және бұрын тек адамға тән когнитивтік міндеттерді орындауға мүмкіндік беретін әдістер жиынтығы ретінде сипатталады. Оған машиналық оқыту тәсілдері, нейрожелілік архитектуралар, оңтайландыру алгоритмдері және ақпаратты өңдеу әдістері жатады. Қазіргі таңда ЖИ-дің негізгі бағыттары терең және нығайта оқыту, табиғи тілді өңдеу, компьютерлік көру, эксперттік жүйелер және когнитивтік модельдеу болып табылады. Сондықтан жасанды интеллект тек автоматтандыру құралы емес, сонымен қатар ғылым, білім, өнеркәсіп пен экология салаларында жаңа шешімдер ұсынатын іргелі ғылыми тұжырымдама ретінде бағаланады [8].

Нанохимиялық зерттеулерде BET, ИҚ-спектроскопия, электрондық микроскопия (TEM/SEM) және сорбция әдістері қолданылды. Бұл әдістер мұнай төгінділерін тазалау, катализаторлардың сипаттамаларын болжау және экологиялық таза технологияларды әзірлеу барысында пайдаланылды.

Материалдарды модельдеу және жобалау. Жасанды интеллект наноматериалдардың компьютерлік модельдерін жасап, олардың қасиеттері мен реакциялық қабілеттерін алдын ала болжауға мүмкіндік береді. Мұндай тәсілдер жоғары беріктік, электрөткізгіштік немесе каталитикалық белсенділік сияқты сипаттамалары бар жаңа материалдарды құрастыру үдерісін жылдамдатады [8]. ЖИ арқылы нанокатализаторлар, нанобөлшектер және нанотүтіктердің құрылымдық және электрондық қасиеттері алдын ала есептеліп, олардың реакция жылдамдығына, энергия тиімділігіне және селективтілігіне ықпал ететін болжамдар жасалады [9]. Сонымен бірге, ЖИ үлкен көлемдегі химиялық деректерді талдап, заңдылықтарды айқындайды және реакциялардың тиімді параметрлерін болжайды. Бұл тәсіл синтез процестерін оңтайландыруға, шығындарды азайтуға және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Автоматтандыру. Наноматериалдарды синтездеу, құрастыру және сипаттау процестері ЖИ көмегімен автоматтандырылып, қателіктер ықтималдығы азаяды, өнімділік артады және дәстүрлі әдістерде мүмкін болмайтын күрделі тәжірибелерді орындауға жол ашылады.

Деректерді талдау. Электрондық микроскопия, спектроскопия және басқа да сипаттау әдістерінен алынған деректердің үлкен көлемін ЖИ тиімді өңдейді. Бұл ғалымдарға наноматериалдардың құрылымдық ерекшеліктерін тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, деректерді интеллектуалды талдау жаңа қосылыстарды болжауға және олардың қолданылу мүмкіндіктерін анықтауға жол ашады [10].

Жасанды интеллект қолданыстағы материалдар дерекқорын талдап, ерекше қасиеттерге ие жаңа қосылыстардың пайда болу ықтималдығын айқындайды. Бұл қоршаған ортадағы ластаушы заттарды немесе ауру маркерлерін анықтауға арналған аса сезімтал және дәл құрылғыларды әзірлеуге мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл технология мен медицинаның әртүрлі салаларында жаңа материалдар ашуға негіз қалайды [10].

ЖИ энергия саласында да маңызды рөл атқарады. Ол күн сәулесін электр энергиясына тиімдірек түрлендіретін жаңа наноқұрылымды мате-

риалдарды жобалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, дәрілік препараттардың нанобөлшектермен өзара әрекеттесуін модельдеу арқылы оларды зақымданған тіндерге жеткізудің тиімді әдістері ұсынылады. ЖИ медицинада ауруларды ерте кезеңде анықтауға мүмкіндік беретін нанодиагностикалық деректерді талдау үшін де қолданылады [10–13].

Нәтижелер мен талқылау. Әдеби шолу және контент-талдау. Нанохимия ғылымындағы негізгі бағыттарға – нанобөлшектерді синтездеу әдістері, каталитикалық процестер, наноматериалдардың морфологиясы мен қасиеттерін зерттеу, сондай-ақ олардың биомедициналық қолданылуы жатады. Жүргізілген салыстырмалы шолу нәтижесінде жасанды интеллект құралдарының нанохимиялық зерттеулерде қолданылу мүмкіндіктері айқындалды.

ЖИ негізіндегі модельдер (1-кесте) наноматериалдарды синтездеу жағдайларына сәйкес олардың каталитикалық белсенділігін болжауға қолданылады. Мұндай тәсілдер арқылы нанобөлшектердің өлшемін, бөлшекаралық байланыс энергиясын және меншікті бетінің шамасын есептеуге болады [14].

1 - кесте. ЖИ модельдерінің наноматериалдардың қасиеттерін болжауда қолданылуы

Модель түрі	Қолданылуы	Болжау мүмкіндіктері
ANN (нейрондық желілер)	Нанобөлшектердің морфологиясын болжау	Өлшемі, беткі ауданы
DT (шешім ағаштары)	Синтез шарттарын талдау	Қасиеттерге әсерін болжау
MLR (көптік регрессия)	Параметрлердің тәуелділігін анықтау	Каталитикалық белсенділік
GANs (генеративті модельдер)	Жаңа құрылымдарды болжау	Жаңа наноматериал синтезі

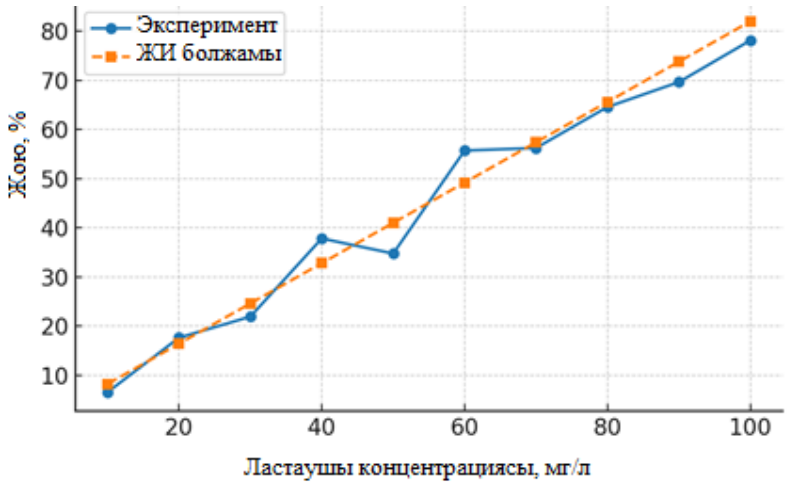
Бұл кестеде ЖИ модельдерінің әрқайсысының артықшылықтары көрсетілген. Мәселен, ANN морфологияны болжауда тиімді болса, шешім ағаштары синтез шарттарының әсерін талдауда қолданылады. GANs жаңа наноқұрылымдарды генерациялауда ерекше әлеуетке ие.

Жасанды интеллект технологиялары синтез нәтижелерінен жиналған үлкен деректерді талдауға мүмкіндік беріп қана қоймай, эксперименттік процестерді оңтайландыруға да жағдай жасайды. Машиналық оқыту алгоритмдері температура, әсер ету уақыты және ортаның pH мәні сияқты негізгі параметрлердің арасындағы күрделі байланыстарды анықтап, олардың ең қолайлы аралығын табуға көмектесті. Бұл тәсіл дәстүрлі эмпирикалық әдістермен салыстырғанда әлдеқайда жылдам әрі дәл болжамдар ұсынады.

Ағынды суларды тазарту процесінде металл нанобөлшектерімен модификацияланған цеолиттердің сорбциялық белсенділігін ЖИ көмегімен болжау мүмкіндігі ерекше назар аудартады [15]. Мұндай тәсіл экологиялық тұрғыдан тиімді шешімдер қабылдауға ықпал етеді, себебі алдын ала болжамдар негізінде адсорбенттердің тиімді құрамын таңдау арқылы су тазарту сапасын арттыруға және шығындарды азайтуға болады.

1-суретте көрсетілген нәтижелер эксперименттік деректер мен ЖИ негізіндегі болжамдардың арасындағы жоғары деңгейдегі сәйкестікті дәлелдейді. Болжамдық модель мен тәжірибелік мәліметтердің арасындағы қателік шамасы аз болғандықтан, жасанды интеллекттің сенімді құрал екендігі айқындалды. Сонымен

бірге, ЖИ модельдері адсорбция үдерісіне әсер ететін жасырын факторларды анықтап, жаңа гипотезалар ұсынуға мүмкіндік береді.



1 - сурет. Эксперименттік нәтижелер мен жасанды интеллект негізіндегі болжаулардың сорбциялық қабілеттерін салыстыру

Бұл нәтижелер ЖИ технологияларын нанохимияда қолданудың болашағы зор екенін көрсетеді. Әсіресе экологиялық проблемаларды шешуде, атап айтқанда ауыр металдармен ластанған суларды тазарту мен сорбенттерді жетілдіруде жасанды интеллект маңызды рөл атқара алады.

Машиналық оқыту алгоритмдерін талдау. Жасанды интеллект әдістерінің ішінде жасанды нейрондық желілер (ANN), шешім ағаштары (DT), көптік сызықтық регрессия модельдері (MLR), кластерлеу тәсілдері және генеративті қарсылас модельдер (GANs) қолданылды. Бұл алгоритмдер наноматериалдардың физика-химиялық сипаттамаларын болжауда, сондай-ақ олардың синтез процестерін оңтайландыруда тиімді екендігін көрсетті [6].

Нанохимиялық деректерді – спектроскопиялық (ИК, УФ-Vis), адсорбциялық (BET) және атомдық-абсорбциялық спектроскопиялық мәліметтерді – ЖИ алгоритмдері арқылы өңдеу әдістемелік тұрғыдан сипатталды. Мұндай тәсілдер материалдардың кристалдық құрылымын, беткі ауданын және сорбциялық қасиеттерін бағалауда нәтижелі қолданылды [6,16]. Мысалы, негізгі компоненттер әдісі (PCA) мен конфигурациялық нейрондық желілер (CNN) спектрлерді талдауда тиімділігін көрсетті: олар сіңіру жолақтарын автоматты түрде бөліп, қолмен өңдеуге қарағанда талдау уақытын 3–5 есеге қысқартты [14].

2 - кесте. Спектрді талдау уақытын салыстыру

Әдістер	Өңдеу уақыты (мин)	Қате (%)
Қолмен өңдеу	45–60	5–7
ML (нейрожелі)	10–12	3–4

Кестеден көрінгендей, ЖИ алгоритмдерін қолдану спектроскопиялық деректерді өңдеу уақытын 3–5 есе қысқартады және қателік деңгейін азайтады. Бұл тәжірибелік деректерді өңдеудің тиімділігін арттырып, зерттеу процестерін жылдамдатады, нәтижелер ЖИ алго-

ритмдерінің уақытты үнемдеу тұрғысынан ғана емес, сондай-ақ болжам дәлдігі бойынша да артықшылықтарын айқындайды.

ЖИ-ті нанохимияға интеграциялау. Жасанды интеллектті нанохимиялық зерттеулерге енгізу материалдардың қасиеттерін жоғары дәлдікпен болжауға, оңтайлы синтез шарттарын жылдам анықтауға және реагенттерді тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Соның нәтижесінде экологиялық ауыртпалық төмендеп, ресурстар үнемделеді.

Салыстырмалы талдау. ЖИ негізінде алынған модельдік деректер дәстүрлі кванттық-химиялық есептеулер мен эксперименттік нәтижелермен салыстырылды. Мұндай тәсіл ЖИ-дің дәстүрлі әдістерді толықтырудағы маңызын көрсетті. Зерттеу барысында модельдеу үшін Python ортасындағы «scikit-learn», «TensorFlow» және «PyTorch» кітапханалары қолданылды. Алынған деректерді визуализациялау «Origin Pro» және «Matplotlib» бағдарламалары арқылы жүзеге асырылды. Әдістердің кешенді түрде пайдаланылуы жаңа материалдарды жобалауды жеделдетуге, синтез процестерін оңтайландыруға және экологиялық тұрғыдан қауіпсіз технологияларды дамытуға негіз болды.

Мұнай өндіру саласындағы қолданылуы. ЖИ мен нанохимиялық тәсілдердің үйлесімі өнеркәсіптік процестерде де тиімділігін көрсетті. Атап айтқанда, мұнай өндіруде цеолит негізіндегі немесе металлоксидті наноқұрылымдар қолданылып, қабаттың өткізгіштігін арттыруға, парафиндік шөгінділерді азайтуға және мұнайдың алыну коэффициентін (КИН) жоғарылатуға ықпал етті. Бұл бағыттағы зерттеулер ЖИ-дің көмегімен тиімді реагент құрамдарын болжау арқылы өндірістік көрсеткіштерді жақсартудың жаңа мүмкіндіктерін ашып отыр.

3 - кесте. Жасанды интеллект пен нанохимияның мұнай өндіруде қолданылуы

Қолдану саласы	**Нанохимия рөлі**	**ЖИ рөлі**	**Нәтиже**
Мұнай өндіруді арттыру (EOR)	Цеолит негізіндегі нанобөлшектер қабат өткізгіштігін жоғарылатады	Машиналық оқыту қабат моделін талдап, оңтайлы енгізу шамасын болжайды	Мұнай өндіру 8–12%-ға өседі
Құбырдағы парафин шөгінділерін азайту	Наноқұрылымды қоспалар парафин кристалдануын тежейді	ЖИ алгоритмдері құбырдың температурасын/қысымын бақылап, тәуекелді алдын ала ескертеді	Құбырдағы бітелулер 20–25%-ға азаяды
Экологиялық мониторинг	Нано-сенсорлар ауыр металдарды, күкірт қосылыстарын анықтайды	ЖИ деректерді өңдеп, ластану деңгейін модельдейді	Қоршаған ортаға әсерін ерте анықтау

Мұнай өнеркәсібінде қабаттың параметрлерін (қысым, температура, қанығу дәрежесі) дәл болжау және оларды басқару өндірістің тиімділігін арттыру үшін маңызды. Бұл тұрғыда жасанды интеллект әдістері, әсіресе машиналық оқыту мен нейрондық желілер, қабаттың динамикасын модельдеуде және өндіріс процесін оңтайландыруда кеңінен қолданылып келеді [7, 15–17]. Сонымен қатар, 3 кестеде көрсетілгендей, нанохимиялық тәсілдер мұнай қабаттарының өткізгіштігін арттыруда, парафин шөгінділерін азайтуда және экологиялық мониторингте айтарлықтай рөл атқарады.

Бұл нәтижелерден көрініп тұрғандай, ЖИ мен нанохимияны үйлестіре қолдану мұнай өндіру саласында үш негізгі бағытта тиімділік береді:

- технологиялық – өндірістің өсуіне ықпал ету;

- операциялық – жабдықтардың жұмыс сенімділігін арттыру;

- экологиялық – қоршаған ортаға түсетін техногендік жүктемені төмендету.

Осылайша, ЖИ мен нанохимияның симбиозы дәстүрлі әдістерді толықтыра отырып, мұнай өндірудің жаңа буын технологияларын қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Дәстүрлі әдістер, нанохимия, жасанды интелелекті нанохимиямен үйлестіру негізінде мұнай өндіру көлемінің өзгерістерін салыстыруға болады (сурет 2).



2 - сурет. Мұнай өндіру көлемінің салыстырмалы өзгерісі

Суреттен көрініп тұрғандай, дәстүрлі әдістерге қарағанда нанохимиялық тәсілдер және ЖИ құралдарымен бірлескен модельдер мұнай өндірудің айтарлықтай артуына ықпал етеді.

ЖИ алгоритмдері кен орындарындағы қабат қысымын болжауға, өнімділікті модельдеуге және шығындарды оңтайландыруға кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, нанокатализаторлардың енгізілуін жасанды интеллект көмегімен көмірсутектерді қайта өңдеу тиімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік беретінің алдын ала анықтайды [18 - 19].

4 - кесте. Наноматериал түріне байланысты тиімділікті салыстыру

Наноматериал түрі	Қолданылу аймағы	Тиімділік (салыстырмалы)
Цеолит негізіндегі катализаторлар	Мұнайды крекинглеу процестері	+25% өнімділік
Нанокөміртек (graphene)	Адсорбция, сүзу	+40% тазарту тиімділігі
Металл нанобөлшектер	Катализ (гидрогендеу)	+30% реакция жылдамдығы

Бұл кестеден көрініп тұрғандай, әртүрлі наноматериалдар мұнай өңдеу және экологиялық процестердің тиімділігін айтарлықтай арттырады. Цеолит негізіндегі катализаторлар мұнайды крекинглеу реакцияларында өнімділікті 25%-ға жоғарылатса, нанокөміртек адсорбциялық және сүзу процестерінде тазарту тиімділігін 40%-ға дейін арттырады. Ал металл нанобөлшектер гидрогендеу сияқты каталитикалық реакцияларда 30%-ға дейін жоғары реакция жылдамдығын

қамтамасыз етеді. Бұл деректер нанохимияның өнеркәсіптік және экологиялық маңызын айқындайды.

Энергетикадағы ЖИ және нанотехнология. ЖИ энергетика саласында үлкен көлемдегі мәліметтерді өңдеу, талдау және болжау арқылы жүйелердің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Оның негізгі қолданылу бағыттары 5-кестеде берілген.

5 - кесте. Жасанды интеллектің энергетика саласында қолданылуы

Қолдану саласы	Түсініктеме
Сұранысты болжау	Тарихи және климаттық деректер арқылы сұранысты басқару
Предиктивті қызмет көрсету	Ақауларды ерте анықтау және техникалық қауіпсіздікті қамтамасыз ету
Құрылымды оңтайландыру	Энергетикалық қондырғылардың тиімділігін арттыру
Авариялары анықтау	Инфрақұрылымдағы ақауларды ерте анықтау
Логистика	Ресурстарды басқару және жеткізуді автоматтандыру
Қаржылық тиімділік	Авариялар мен шығындарды азайту

Кестеден байқағандай, ЖИ энергетика саласында көпқырлы қолданысқа ие. Сұранысты болжау арқылы өндіріс пен тұтынуды теңестіруге мүмкіндік берілсе, предиктивті қызмет көрсету құрал-жабдықтардың істен шығуын алдын ала анықтап, қауіпсіздікті арттырады. Құрылымды оңтайландыру энергия қондырғыларының тиімділігін жоғарылатады, ал логистикадағы ЖИ ресурстарды дұрыс үлестіруге жағдай жасайды. Сонымен бірге, қаржылық шығындарды азайтып, апаттық жағдайлардың алдын алуы энергетикадағы ЖИ рөлін стратегиялық маңызды етеді.

ЖИ тарихи деректер мен климаттық шарттарды ескере отырып, энергияға деген сұранысты дәл болжайды, бұл артық өндіру мен шығындарды азайтуға мүмкіндік береді [17,18]. Сонымен қатар, сенсорлық деректер (температура, діріл, қысым) негізінде ЖИ құрал-жабдықтардың істен шығуын алдын ала анықтап, апаттық жағдайлардың алдын алады. Мысалы, Siemens компаниясының ЖИ жүйелері техникалық ақауларды ерте диагностикалауда тиімділігін көрсетті [19].

6 - кесте. Түрлі әдістер арқылы тазарту тиімділігін салыстыру

Әдіс	Уақыт шығыны	Тазарту тиімділігі	Экологиялық әсері
Механикалық жинау	Ұзақ	40–50%	Орташа
Химиялық диспергаторлар	Орташа	60–70%	Теріс
Наносорбенттер + ЖИ	Қысқа	85–90%	Төмен

Мұнай төгінділері экожүйеге үлкен қауіп төндіреді. Бұл мәселені шешуде наносорбенттер тиімді құрал болып табылады. Олар төгінділерді қысқа уақыт ішінде жинауға мүмкіндік береді, ал ЖИ негізіндегі жүйелер дрондар арқылы мұнай дақтарының таралуын бақылап, автоматты тазалау шараларын ұсынады.

Мұнай төгінділерін тазарту әдістерін салы-

стыру көрсеткендей, механикалық жинау баяу және тиімділігі төмен әдіс болып табылады (40–50%). Химиялық диспергаторлар тиімділікті 70%-ға дейін жеткізгенімен, олардың қоршаған ортаға әсері теріс. Ал наносорбенттерді ЖИ технологияларымен бірге қолдану тазарту тиімділігін 85–90%-ға дейін арттырып қана қоймай, экологиялық әсерін де азайтады. Бұл тәсіл экологиялық қауіпсіз әрі уақыт шығыны жағынан да тиімді әдіс ретінде ерекшеленеді.

Қорытынды. Жасанды интеллект пен нанотехнология, соның ішінде нанохимияның интеграциясы ғылым мен техниканың дамуы үшін жаңа мүмкіндіктер ашатын қуатты симбиозды білдіреді. Бұл симбиоз жаһандық мәселелерді шешуге қабілетті жаңа материалдар, құрылғылар мен технологияларды жасауға негіз қалайды.

Алайда, бұл әлеуетті толық жүзеге асыру үшін бірқатар маңызды шарттарды орындау қажет:

Инфрақұрылымды дамыту. Нанохимияда ЖИ-ны тиімді қолдану үшін қуатты есептеу ресурстары, ірі дерекқорлар мен арнайы зертханалық жабдықты қамтитын заманауи инфрақұрылым қажет.

Мамандар даярлау. Жасанды интеллект пен нанотехнология тоғысында жұмыс істей алатын, пәнаралық білім мен дағдысы бар жоғары білікті мамандарды даярлау өзекті мәселе болып табылады.

Этикалық аспектілер. Әсіресе медицина мен биотехнология салаларында ЖИ мен нанотехнологияны қолдану кезінде туындайтын этикалық мәселелерді мұқият қарастыру қажет.

Жасанды интеллект пен нанохимияның бірігуі мұнай, энергетика және экология салаларында жаңа технологияларды дамытуға мүмкіндік береді. Бұл бағыттардың үйлесімді интеграциясы болашақта тұрақты даму мақсаттарына қол жеткізудің, табиғи ресурстарды тиімді пайдаланудың және экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етудің негізгі тетігіне айналуы ықтимал.

Әдебиеттер

1. Gäbler C., Jeschke J., Dietrich S., Nurgazina, G., Schaarschmidt, D., Georgi, C., Schlesinger, M., Mehring, M., & Lang, H. The effect of PEGylated dendrimers on the catalytic activity and stability of palladium particles in the Suzuki reaction // Catalysis Letters. - 2013. - Vol.143(4). - P.317-323. DOI 10.1007/s10562-013-0967-9.

2. Belay T., Abate L., Bachheti R. K., Joshi A. Nanomaterials: introduction, synthesis, characterization, and applications // Advances in Smart Nanomaterials and Their Applications. - Elsevier. - 2023. - P. 1 - 21. DOI 10.1016/B978-0-323-99546-7.00027-6.

3. Нургалиева Д.А., Нургазина Г.М. Получение экологических наноудобрений для улучшения роста растений // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. Серия техническая. - 2019. – № 3(128). - С.121-125. DOI 10.32523/2616-6771-2019-128-3-121-125.

4. Gutierrez R. Guiding the next technological revolution: Principles for responsible AI and nanotech progress // Artificial Intelligence in the Age of Nanotechnology. - IGI Global, 2024. - C.210-232. DOI 10.4018/979-8-3693-0368-9.ch011

5. Butler K.T., Davies D.W., Cartwright H., Isayev O., Walsh A. Machine learning for molecular and materials science // Nature. - 2018. -Vol. 559(7715).- P.547-555. DOI 10.1038/s41586-018-0337-2.

6. Roco M.C., Grainger D., Alvarez P.J., Badesha, S., Castranova, V., Ferrari, M., Godwin, H., Grodzinski, P., Morris, J., Savage, N., Scott, N., & Wiesner, M. Nanotechnology environmental, health, and safety issues // Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020. – Dordrecht: Springer, 2011. - P.159–220. DOI 10.1007/978-94-007-1168-6_5.

7. Encyclopaedia Britannica. Artificial intelligence [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence. - Дата обращения: 26.04.2025.

8. Rahman A., Deshpande P., Radue M.S., & Odegard, G. M. A machine learning framework for predicting the shear strength of carbon nanotube-polymer interfaces based on molecular dynamics simulation data//Composites Science and Technology. -2021.-Vol.207:108627. DOI 10.1016/j.compscitech.2020.108627.

9. Darwish M.A., Abd-Elaziem W., Elsheikh A., Zayed A.A. Advancements in nanomaterials for nanosensors: a comprehensive review // Nanoscale Advances.- 2024.-Vol.6(16). - P.4015-4046. DOI 10.1039/D4NA00214H.

10. Bayda S., Adeel M., Tuccinardi T., Cordani M., Rizzolio F. The history of nanoscience and nanotechnology: From chemical–physical applications to nanomedicine // Molecules.- 2020. - Vol.25(1).- P.112. DOI 10.3390/molecules25010112.

11. Mak K.-K., Wong Y.-H., Pichika M.R. Artificial intelligence in drug discovery and development // Drug Discovery and Evaluation: Safety and Pharmacokinetic Assays. – 2024. – P.1461–1498. DOI 10.1007/978-3-031-35529-5_92.

12. Verhelst M., Murmann B. Machine learning at the edge // NANO-CHIPS 2030: On-Chip AI for an Efficient Data-Driven World. -2020.- P. 293–322. DOI 10.1007/978-3-030-18338-7_18.

13. Yao L., Chen Q. Chapter 10- Machine learning in nanomaterial electron microscopy data analysis // Intelligent Nanotechnology. - Amsterdam: Elsevier.- 2023. - P.279–305. DOI 10.1016/B978-0-323-85796-3.00010-X.

14. Sanchez-Lengeling B., Aspuru-Guzik A. Inverse molecular design using machine learning: Generative models for matter engineering // Science. -2018. - Vol.361 (6400). - P.360 - 365. DOI 10.1126/science.aat2663

15. ISO. What is AI? URL: https://www.iso.org. - Қаралған күні: 21.05.2025.

16. Wikipedia. Artificial intelligence. URL: https://en.wikipedia.org .- Қаралған күні: 21.00.2025.

17. Prajapat R., Yadav H., Shaik A.H. A review of the prospects, efficacy and sustainability of nanotechnology-based approaches for marine oil spill remediation // Waste Management Research. -2025. - Vol. 43 (4). - P.507-521. DOI: 10.1177/0734242X241257095.

18. Digital Energy. Искусственный интеллект в электроэнергетике. – 2024. URL: https://www.digital-energy.ru.-Қ аралған күні: 21.05.2025.

19.1AI.gov.ru. Применение ИИ в энергетике в целях устойчивого развития. – 2024. URL: https://ai.gov.ru .- Қаралған күні: 22.05.2025.

References

1. Gäbler C., Jeschke J., Dietrich S., Nurgazina, G., Schaarschmidt, D., Georgi, C., Schlesinger, M., Mehring, M., & Lang, H. The effect of PEGylated dendrimers on the catalytic activity and stability of palladium particles in the Suzuki reaction // Catalysis Letters. - 2013. - Vol.143(4). - P.317-323. DOI 10.1007/s10562-013-0967-9.

2. Belay T., Abate L., Bachheti R. K., Joshi A. Nanomaterials: introduction, synthesis, characterization, and applications // Advances in Smart Nanomaterials and Their Applications. - Elsevier. - 2023. - P. 1 - 21. DOI 10.1016/B978-0-323-99546-7.00027-6.

3. Нургалиева Д.А., Нургазина Г.М. Получение экологических наноудобрений для улучшения роста растений // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. Серия техническая. - 2019. – № 3(128). - С.121-125.

DOI 10.32523/2616-6771-2019-128-3-121-125.

4. Gutierrez R. Guiding the next technological revolution: Principles for responsible AI and nanotech progress // Artificial Intelligence in the Age of Nanotechnology. - IGI Global, 2024. - C.210-232. DOI 10.4018/979-8-3693-0368-9.ch011

5. Butler K.T., Davies D.W., Cartwright H., Isayev O., Walsh A. Machine learning for molecular and materials science // Nature. - 2018. -Vol. 559(7715).- P.547-555. DOI 10.1038/s41586-018-0337-2.

6. Roco M.C., Grainger D., Alvarez P.J., Badesha, S., Castranova, V., Ferrari, M., Godwin, H., Grodzinski, P., Morris, J., Savage, N., Scott, N., & Wiesner, M. Nanotechnology environmental, health, and safety issues // Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020. – Dordrecht: Springer, 2011. - P.159–220. DOI 10.1007/978-94-007-1168-6_5.

7. Encyclopaedia Britannica. Artificial intelligence [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.britannica.com. - Дата обращения: 26.04.2025.

8. Rahman A., Deshpande P., Radue M.S., & Odegard, G. M. A machine learning framework for predicting the shear strength of carbon nanotube-polymer interfaces based on molecular dynamics simulation data//Composites Science and Technology. -2021.-Vol.207:108627. DOI 10.1016/j.compscitech.2020.108627.

9. Darwish M.A., Abd-Elaziem W., Elsheikh A., Zayed A.A. Advancements in nanomaterials for nanosensors: a comprehensive review // Nanoscale Advances.- 2024.-Vol.6(16). - P.4015-4046. DOI 10.1039/D4NA00214H.

10. Bayda S., Adeel M., Tuccinardi T., Cordani M., Rizzolio F. The history of nanoscience and nanotechnology: From chemical–physical applications to nanomedicine // Molecules.- 2020. - Vol.25(1).- P.112. DOI 10.3390/molecules25010112.

11. Mak K.-K., Wong Y.-H., Pichika M.R. Artificial intelligence in drug discovery and development // Drug Discovery and Evaluation: Safety and Pharmacokinetic Assays. – 2024. – P.1461–1498. DOI 10.1007/978-3-031-35529-5_92.

12. Verhelst M., Murmann B. Machine learning at the edge // NANO-CHIPS 2030: On-Chip AI for an Efficient Data-Driven World. -2020.- P. 293–322. DOI 10.1007/978-3-030-18338-7_18.

13. Yao L., Chen Q. Chapter 10- Machine learning in nanomaterial electron microscopy data analysis // Intelligent Nanotechnology. - Amsterdam: Elsevier.- 2023. - P.279–305. DOI 10.1016/B978-0-323-85796-3.00010-X.

14. Sanchez-Lengeling B., Aspuru-Guzik A. Inverse molecular design using machine learning: Generative models for matter engineering // Science. -2018. - Vol.361 (6400). - P.360 - 365. DOI 10.1126/science.aat2663.

15. ISO. What is AI? URL: https://www.iso.org. - Date of access: 21.05.2025.

16. Wikipedia. Artificial intelligence. URL: https://en.wikipedia.org.- Date of access: 21.05.2025.

17. Prajapat R., Yadav H., Shaik A.H. A review of the prospects, efficacy and sustainability of nanotechnology-based approaches for marine oil spill remediation // Waste Management Research. -2025. - Vol. 43 (4). - P.507-521. DOI: 10.1177/0734242X241257095.

18. Digital Energy. Искусственный интеллект в электроэнергетике. – 2024. URL: https://www.digital-energy.ru.- Date of access: 21.05.2025

19.1AI.gov.ru. Применение ИИ в энергетике в целях устойчивого развития. – 2024. URL: https://ai.gov.ru .- Date of access: 21.05.2025

Авторлар туралы мәліметтер

Нұрғазина Г.М.- PhD, доцент м.а., Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: ast.gulnar@mail.ru;

Нургалиева Д.А.- п.ғ.к., доцент, Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: dnurgalieva60@mail.ru;

Құдайбергенова С.Ж. - х.ғ.к., доцент, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: ksg75.75@mail.ru;

Information about authors

Nurgazina G.M. - PhD, Acting Associate Professor , Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: ast.gulnar@mail.ru

Nurgaliyeva D.A. - Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,Astana International University, Astana, Kazakhstan, e-mail: dnurgalieva60@mail.ru;

Kudaibergenova S.Zh. – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: ksg75.75@mail.ru.

ҒТАМР 61.35.09, 67.09.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1072**

КАОЛИН НЕГІЗІНДЕГІ ЭНЕРГИЯНЫ ҮНЕМДЕЙТІН СИЛИКАТ КІРПІШІНІҢ ҚҰРАМЫН, ҚАСИЕТТЕРІН ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ

[1]А.Б. Ниязбекова, [1]Л.И. Байтлесова, [2]М.Ж. Алмагамбетова✉, [2]Г.М. Губайдуллина, [3]Э.Б. Жунусова, [3]Ш.Ж. Усенкулова

[1]Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан,
[2]Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан,
[3]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан
✉*Корреспондент-автор: maira0815@mail.ru*

Зерттеу жұмысы жергілікті каолин негізіндегі шикізатты пайдалану арқылы силикат материалдарының физика-механикалық қасиеттерін жан-жақты талдауға бағытталған. Силикат кірпіштер байытылған және байытылмаған каолин, сөндірілген әктас және кварц құмының негізінде автоклавты өңдеу әдісі арқылы дайындалды. Автоклавты өңдеудің параметрлері 175-200 °С температурада және 0,8-1,4 МПа қысымда жүзеге асырылды. Бұл жағдайлар материалдың тығыз микроструктурасын қалыптастыруға ықпал етіп, оның беріктік және суға төзімділік қасиеттерін айтарлықтай жақсартты. Зерттеу нәтижелері каолинді қолдану кірпіштің физика-механикалық қасиеттерін айтарлықтай жақсартатынын көрсетті. Рентгенофазалық талдау кірпіштің құрамында кварц, муллит, анортит және магнетит сияқты жоғары тиімді фазалардың бар екенін анықтады, бұл материалдың құрылымдық тұтастығын және пайдалануға жарамдылығын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, байытылған каолин қосылған материалдардың су сіңіру, бу өткізгіштік және термофизикалық қасиеттері бойынша МЕМСТ талаптарына толық сәйкес келетіні анықталды. Құрамындағы фазалардың арақатынасы, соның ішінде кальций гидросиликаттары мен гидрогранаттардың түзілуі, автоклавты өңдеудің энергия үнемдеу тиімділігін арттырып, материалдардың сапасын қамтамасыз етті. Жалпы, зерттеу жұмысы жергілікті шикізат каолинді пайдалану арқылы энергия шығынын төмендетіп, жоғары сапалы құрылыс материалдарын өндірудің мүмкіндігін дәлелдеді. Бұл әдіс экономикалық тиімділігі мен экологиялық тұрақтылығымен ерекшеленеді, сонымен бірге өндірістік масштабта құрылыс индустриясында қолдануға лайықты шешім болып табылады.

Түйін сөздер: силикат кірпіші, байытылған каолин, байытылмаған каолин, автоклав, әктас.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА, СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОГО СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ КАОЛИНА

[1]А.Б. Ниязбекова, [1]Л.И. Байтлесова, [2]М.Ж. Алмагамбетова✉, [2]Г.М. Губайдуллина, [3]Э.Б. Жунусова, [3]Ш.Ж. Усенкулова

[1]Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Казахстан,
[2]Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана, Уральск, Казахстан,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mail: maira0815@mail.ru

Данное исследование посвящено изучению физико-механических свойств силикатных материалов, полученных на основе местного сырья – каолина. Силикатные кирпичи были изготовлены методом автоклавной обработки с использованием обогащенного и необогащенного каолина, гашеной извести и кварцевого песка. Параметры автоклавной обработки составили 175-200 °С температуры и 0,8-1,4 МПа давления, что позволило сформировать плотную микроструктуру материала и значительно улучшить его прочностные и водостойкие характеристики. Результаты исследования показали, что использование каолина как добавки существенно улучшает физико-механические свойства кирпича. Рентгенофазовый анализ выявил наличие в составе кирпича таких фаз, как кварц, муллит, анортит и магнетит, которые способствуют повышению структурной целостности и эксплуатационных свойств материала. Также было установлено, что образцы с добавлением

обогащенного каолина соответствуют требованиям ГОСТ по водопоглощению, паропроницаемости и термофизическим характеристикам. Формирование кальций-гидросиликатов и гидрогранатов в процессе автоклавной обработки позволило повысить энергоэффективность технологии и обеспечить высокое качество полученных материалов. Таким образом, проведенное исследование подтвердило возможность использования местного каолина для производства энергоэффективных строительных материалов, отвечающих современным стандартам качества. Разработанный метод обладает высокой экономической эффективностью и экологической устойчивостью, что делает его перспективным решением для строительной индустрии в промышленных масштабах.

Ключевые слова: силикатный кирпич, обогащенный каолин, необогащенный каолин, автоклав, известняк.

RESEARCH ON THE COMPOSITION, PROPERTIES, AND STRUCTURE OF KAOLIN-BASED ENERGY-SAVING SILICATE BRICKS

[1]A.B. Niyazbekova, [1]L.I. Baytlesova, [2]M.Zh. Almagambetova✉, [2]G.M. Gubaidullina, [3]E.B. Zhunussova, [3]Sh.Zh. Ussenkulova

[1]West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Kazakhstan,
[2]West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan,
[3] K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
e-mail: maira0815@mail.ru

This study focuses on examining the physical and mechanical properties of silicate materials produced from local raw materials – kaolin. Silicate bricks were manufactured using the autoclaving method, utilizing both enriched and unenriched kaolin, slaked lime, and quartz sand. The autoclave parameters were set at 175-200°C and a pressure of 0.8-1.4 MPa, enabling the formation of a dense microstructure and significantly improving the material' s strength and water-resistant characteristics. The research findings demonstrated that the use of kaolin as an additive significantly enhances the physical and mechanical properties of the bricks. X-ray phase analysis revealed the presence of phases such as quartz, mullite, anorthite, and magnetite in the brick composition, which contribute to improved structural integrity and performance characteristics. Additionally, it was established that samples with added enriched kaolin meet GOST standards for water absorption, vapor permeability, and thermophysical properties. The formation of calcium hydrosilicates and hydrogarnets during the autoclaving process improved the energy efficiency of the technology and ensured the high quality of the materials produced. Thus, the study confirmed the feasibility of using local kaolin for the production of energy-efficient construction materials that meet modern quality standards. The developed method is highly cost-effective and environmentally sustainable, making it a promising solution for industrial-scale applications in the construction industry.

Keywords: silicate brick, enriched kaolin, unenriched kaolin, autoclave, limestone.

Кіріспе. Құрылыс индустриясының қарқынды дамуы жағдайында құрылыс материалдары өндірісінің энергия тиімділігі мен экологиялық қауіпсіздігін арттыру мәселесі ерекше маңызға ие болып отыр. Дәстүрлі технологиялар қоршаған ортаға кері әсерін тигізетін айтарлықтай энергия шығындарымен және парниктік газдар шығарындыларымен сипатталады. Сондықтан меншікті энергия шығынын азайтуға және жергілікті минералды шикізатты пайдалануды кеңейтуге бағытталған баламалы шешімдерді іздеу және енгізу жоғары қажеттілікке ие.

Болашағы зор бағыттардың бірі каолин негізіндегі құрылыс материалдарының жаңа түрлерін әзірлеу болып табылады. Каолин табиғи материал ретінде жоғары химиялық инерттілікке, ыстыққа төзімділікке және гидравликалық белсенділікке ие, бұл оны силикат өнімдерін өндіруде белсенді минералды қоспа ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Бұрынғы жекелеген зерттеулер каолинді енгізу арқылы силикат кірпішінің қасиеттерін жақсарту мүмкін-

дігін көрсетеді, алайда, байытылған каолиннің силикат кірпішінің құрылымына, физика-механикалық және пайдалану сипаттамаларына әсерін, сондай-ақ автоклавты өңдеу процесінде жүретін реакциялардың термодинамикалық негіздемесі кешенді зерттеу, қосымша зерттеулерді қажет етеді.

Зерттеудің өзектілігі – Батыс Қазақстан облысының жергілікті каолин шикізаты негізінде жақсартылған пайдалану сипаттамалары бар силикат кірпішін алудың энергия тиімді технологиясын әзірлеу қажеттілігіне байланысты.

Зерттеу нысаны – силикат кірпішін өндіруге арналған, байытылған каолин қосылған, силикатты құрылым болып табылады. Зерттеу пәні – байытылған каолиннің минералогиялық құрамы мен концентрациясының гидратация процестеріне, автоклавты өңдеу арқылы алынған силикат кірпішінің құрылымын қалыптастыру мен физика-механикалық қасиеттеріне әсер етуі болып табылады.

Жұмыстың мақсаты – модификацияланған каолинді қолдана отырып, энергияны үнемдейтін силикатты қабырға материалының құрамы мен технологиясын ғылыми негіздеу, соңғы өнімнің пайдалану сипаттамаларын бағалау болып табылады. Байытылған каолинді енгізу арқылы силикат қоспасының модификациясы, кальций гидросиликаттары сияқты, жаңадан пайда болғандардың (ісінділердің, өсінділердің) гидротермиялық синтез процестерін белсендіру арқылы материалдың тығыз және біртекті құрылымын қалыптастыруға ықпал етеді және силикат кірпіштің беріктігін арттыруға, судың сіңуін төмендетуге және қасиеттерін жақсартуға әкеледі, сонымен бірге оны өндіруге энергия шығынын азайтады.

Ғылыми жаңалығы - байытылған каолиннің минералогиялық құрамының гидротермиялық қатаю процестеріне және силикат кірпішінің құрылымын қалыптастыруға әсер ету заңдылығын анықтау, силикат қоспасындағы байытылған каолиннің оңтайлы концентрациясын анықтау және силикат кірпішінің физика-механикалық қасиеттерін жақсартуды қамтамасыз ету.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы энергия ресурстарына шығындарды азайтуды және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуды қамтамасыз ететін технологияларды өнеркәсіптік енгізу үшін зерттеу нәтижелерін пайдалану мүмкіндігі болып табылады. Яғни, зерттеу нәтижелерінің маңыздылығы – жергілікті каолин шикізаты негізінде жақсартылған физика-механикалық көрсеткіштері бар және беріктігі жоғары силикат кірпішін өндірудің энергияны үнемдейтін технологиясын әзірлеуден тұрады.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу үшін мынадай бастапқы материалдар алынды: β-каолиниттің құрамын ұлғайту және қажетсіз қоспаларды жою үшін дымқыл сепарация әдісімен алдын ала байытудан өткен Батыс Қазақстан облысы Ақсуат кен орнының каолині. Саз бөлшектері мен дала шпатын кетіру үшін жуылған және фракцияланған Желаев кен орнының кварц құмы. Құрамында кемінде 75 % белсенді Ca^{2+} бар сөндірілмеген әк, алдын ала 4 минут 30 секунд ішінде 97,5 °С температурада кальций гидроксиді ($Ca(OH)_2$) күйіне дейін сөндірілді.

Зерттеу әдістемесі байытылған каолиннің минералогиялық құрамының гидротермиялық қатаю процестеріне және физика-химиялық, физика-механикалық талдаулардың заманауи әдістерін қолдана отырып, силикат кірпіш құрылымының қалыптасуына әсерін зерттеудің кешенді тәсілінен тұрды, бұл шикізаттың құрамы, өндірістің технологиялық параметрлері мен соңғы өнімнің қасиеттері арасында байланыс орнатуға мүмкіндік берді.

Сығымдау және иілу, жылу өткізгіштік, суды сіңіру, бу өткізгіштік, радиациялық белсенділік кезіндегі беріктік шегін анықтаудың физика-механикалық сынақтары МЕМСТ 21216-2014 және МЕМСТ 379-2015 сәйкес жүргізілді. Бастапқы материалдар мен гидратталған тастағы жаңадан пайда болғандардың (ісінділердің, өсінділердің) фазалық құрамын анықтау үшін ДРОН-3 дифрактометрінің көмегімен рентгендік фазалық талдау қолданылды. Алынған нәтижелердің дұрыстығын бағалау үшін, 0,95 сенімділік деңгейінде Стьюдент коэффициентін қолдана отырып, деректерді статистикалық өңдеу

жүргізілді [1].

1000 м$^{2/}$кг меншікті бетіне сәйкес келетін дисперсиясы бар силикат композициялары жасалды. Байытылған каолиннің әр түрлі құрамы бар (құрғақ компоненттердің жалпы массасының 2, 5 және 10 масс. %) бастапқы заттарға судың қажетті мөлшері қосылды. Қоспаның қажетті икемділігін қамтамасыз ету үшін, компоненттерді араластыру, оңтайлы ылғалдылығы 6,8 % болатын зертханалық араластырғышта жүргізілді. Үлгілерді қалыптау, гидравликалық престі қолдана отырып, 1,2 МПа қысыммен жартылай құрғақ прессteу әдісімен жүзеге асырылды. Алынған үлгілер зертханалық автоклавта 0,8 МПа қанықкан бу қысымында келесі режим бойынша гидротермиялық өңдеуден өтті: 1,5 сағат – температураны көтеру, 9 сағат – изотермиялық ұстау,1,5 сағат – салқындату.

Гидротермиялық өңдеу қысымының төмендеуі силикат материалдарын сығу кезінде беріктік шегінің төмендеуіне әкеледі. Әк құрамының жоғарылауымен орташа тығыздық, гидротермиялық өңдеудің жоғары қысымы төмендейді. Бұл үлгілердің жұмсарту коэффициентінің мәні ең жоғары мәнге ие. Әк құрамының жоғарылауы жұмсарту коэффициентін сәл арттырады. Атмосфералық қысымда негізінен әлсіз кристалданған кальций гидросиликаттары түзіледі. Бұл фазалар арасындағы оңтайлы қатынасқа 0,8 МПа гидротермиялық өңдеу жағдайында қол жеткізуге болады, бұл силикат материалдарының максималды физикалық-механикалық көрсеткіштерін қамтамасыз етеді. Дегенмен, гидротермиялық өңдеу атмосфералық қысымда 5 массалық үлесі бар үлгілер үшін өте жоғары беріктікті қамтамасыз етеді. Әлсіз кристалданған кальций гидросиликаттары өте тұрақсыз және цементтеу қосылысының құрылымын өзгерте отырып, қайта кристалдануға қабілетті [2].

Балшық түзудің аяқталмаған сатысында құмды-сазды жыныстарды қолдана отырып, силикат материалдарын алу кезінде гидротермиялық өңдеу қысымын едәуір төмендету мүмкіндігі анықталды. Гидротермиялық өңдеу жағдайында осы шикізаттың тау жыныстарын құрайтын минералдардың жоғары реактивтілігіне байланысты цементтеуші қосылыстың берік микроқұрылымдарын қалыптастыру процесі тек жоғары қысымда ғана емес, сонымен қатар атмосфералық қысымда да жүреді. Бұл энергияны үнемдеу технологиясы бойынша тиімді сапалы қабырға құрылыс материалдарын алуға мүмкіндік береді. Құрамында кремнезем бар құмды-сазды жыныстарды шикізат ретінде пайдалану, шикізаттың беріктігін едәуір арттырады, сондай-ақ әктас құрамының жоғарылауымен де беріктік артады.

Шикізат қоспасында саздақты пайдалану салмағы бойынша 5 % мөлшерінде әк болған кезде беріктігі 0,80 МПа болатын шикізат алуға мүмкіндік береді, бұл бақылау үлгілерінің беріктігінен 11 % жоғары. Әк-құмды сазды тұтқыр негізіндегі шикізаттың беріктігі 11 %-ға артады [3].

Эксперименттік деректер құрамында жоғары белсенді минералдар: β-каолинит, монтмориллонит, гидрослюдтар және аморфты кварц бар саз түзудің аяқталмаған сатысында саз шикізатын қолдана отырып, берік силикат материалдарын алу мүмкіндігін растайды. Белсенділігі жоғары сазды тау жыныстарының минералдарын пайдалану гидротермиялық өңдеу қысымының төмен мәндерінде де күшті цементтеу фазасын қалыптастыруға мүмкіндік береді, цементтеу қосылыстарын синтездеуге және сәйкесінше энергияны аз қажет ететін силикат материалдарын алуға мүмкіндік береді.

Нәтижелер және талқылау. Тәжірибе барысында құрамында байытылған және байытылмаған каолин бар әртүрлі құрамдағы силикат кірпіш үлгілері алынды (кесте 1).

Кірпіштің бастапқы шикізаты таза кварц құмы (92-95 %), борпылдақ әк (5-8 %) және су (7-8 %), біртекті қоспалармен мұқият дайындалған және арнайы престе қалыпталған. Алынған мәліметтер каолиннің оңтайлы құрамын анықтау үшін одан әрі талданған.

Нәтижелер беріктік, жылу өткізгіштік және суды сіңіру сияқты силикат кірпішінің қажетті сипаттамаларына қол жеткізу мақсатында каолин мен қоспаның басқа компоненттерінің

оңтайлы арақатынастарын анықтау үшін зерттеулер жүргізу қажеттілігін көрсетеді.

Гидротермиялық өңдеу кезінде сөндірілген әк пен кремнеземнің химиялық әрекеттесуі күшті және суға төзімді қосылыстардың – негізінен кальций гидросиликаттарының пайда болуына әкелді. Бұл фазалар, жасанды тастың тығыз, кеуекті құрылымын құрып, кварц құмының дәндерін цементтеді.

1 - кесте. Құм мен сөндірілген әк бар силикат кірпішіндегі байытылмаған және байытылған каолиндердің қатынасы

№	Силикат кірпішінің құрамы	Мөлшері, %	Қ/С
1	Бақылау үлгісі (қоспасыз)	-	-
2	Байытылмаған каолин	2	0,60
3	Байытылмаған каолин	5	0,22
4	Байытылмаған каолин	10	0,10
5	Байытылған каолин	2	0,60
6	Байытылған каолин	5	0,22
7	Байытылған каолин	10	0,10



1 - байытылмаған каолинмен;



2 - байытылған каолинмен

1 - сурет. Автоклавты өңдеуден кейінгі байытылмаған және байытылған каолинмен силикатты кірпіштер

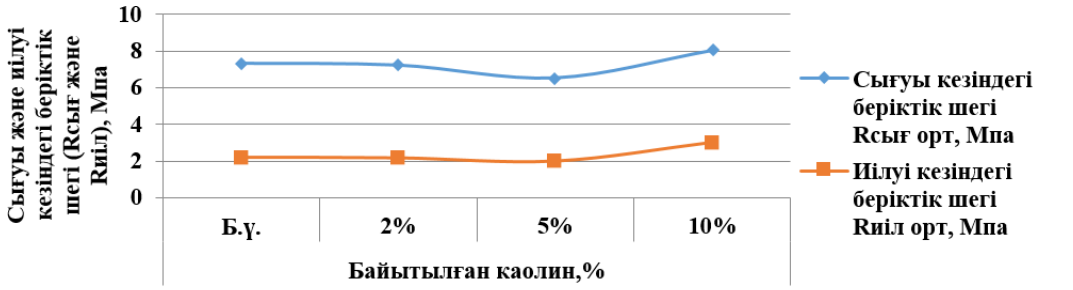
Престеу ПМГ-100мг4-А гидравликалық престерде, кейін 175 °С температурада және 0,8-1,4 МПа қысымда автоклавты өңдеумен жүзеге асырылды.75 маркалы тұтасталған және перфорацияланған, 250×120×65 мм және 250×120×88 мм өлшемді кірпіштер қолданылды. Сығылған кірпішті автоклавпен өңдеу Matest неміс қондырғысында жүргізілді (сурет 1) [4].

Саздақтың құрамына әктің 8 %-н енгізу сы-

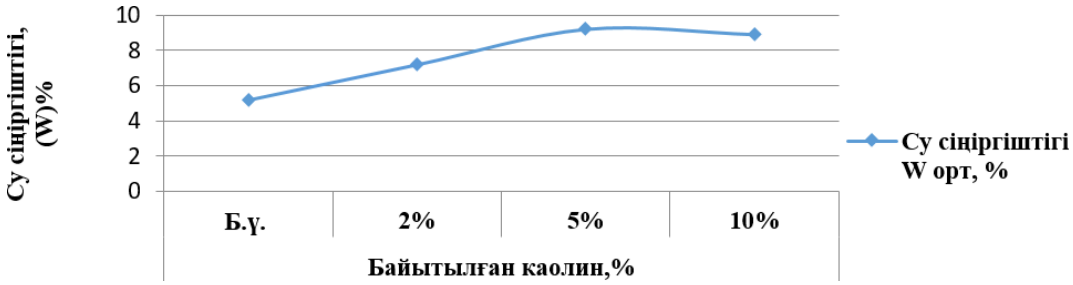
ғымдау кезінде беріктік шегінің 11 %-ға өсуіне әкелді. Беріктіктің мұндай едәуір артуы наноқұрылымның жоғары дисперсті құмды-сазды тау жыныстарының бөлшектері арқылы пайда болуымен байланысты деп болжануда, олар кеуектер мен бос жерлерді тиімді толтырады, нәтижесінде материал құрылымы тығыздалады. Дисперсті бөлшектер арасындағы ең кішкентай капиллярларда пайда болатын капиллярлық күштер айтарлықтай нақты қысым жасайды және шикізаттың беріктігін арттырады [5].

Құмды-сазды жыныстардың термодинамикалық тұрақсыз минералдары 185-200 °С-ге дейін қызған кезде булану жағдайында жаңадан пайда болғандардың (ісінділердің, өсінділердің) - кальций гидросиликаттары мен гидрогранаттардың синтезіне қатысады. Бұл жаңадан пайда болғандар (ісінділер, өсінділер) силикат материалдарының жоғары физика-механикалық көрсеткіштерін түсіндіретін цементтеуші заттың дамыған құрылымын құрайды. Дәстүрлі емес шикізат ретінде аяқталмаған саз түзілу фазасының құмды-сазды жыныстарын пайдалану шикізат қоспасын қалыптастыру процесін оңтайландыруға және шикізаттың беріктігін 4-5 есе арттыруға мүмкіндік береді. Қалыптау кезінде ақаулардың санын азайту энергияны үнемдеу технологиясын қолдана отырып жоғары сапалы өнімдер алуға мүмкіндік береді [6, 7].

Каолиннің әсерін бағалау үшін автоклавпен өңделген силикат кірпіш үлгілері зерттелді. Өңдеуден кейін сығылу және иілу кезіндегі беріктік шектері анықталды. Каолинмен байытылған үлгілердің беріктік шектерін а нықтау нәтижелері 2-суретте көрсетілген.



2 - сурет. Байытылған каолин қосылған силикат кірпішінің сығылу және иілу кезіндегі беріктік шегінің қоспа мөлшеріне тәуелділігі



3 - сурет. Байытылған каолин қосылған силикатты кірпіштің су сіңіргіштігінің қоспа мөлшеріне тәуелділігі

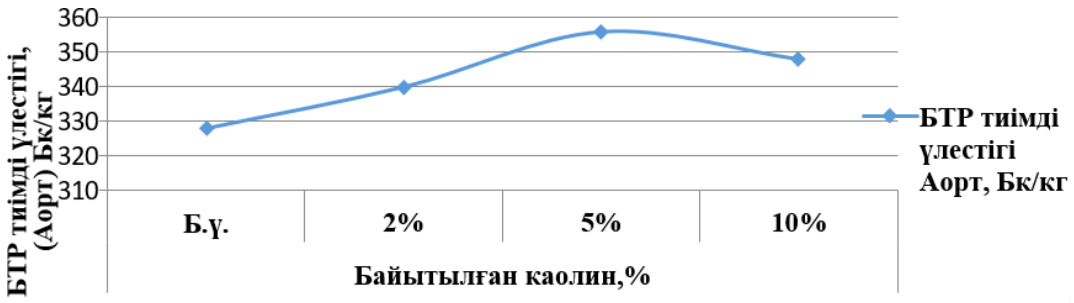
5-10 % байытылған каолин қосылған үлгілер сығылу және иілу беріктігінің айтарлықтай жақсаратынын көрсететіні анықталды.10 % каолинді қосқанда, сығылу беріктігінің шегі бақылау үлгісімен салыстырғанда 45 %-ға артып, қалыпты жағдайда 24 сағат қатаюдан кейін максималды мәндерге жетті. Байытылған каолинді қолдану қоспаның судың сіңуін төмендетуге көмекте-

седі, нәтижесінде материалдың тығыздығы мен беріктігі артады. Барлық зерттелген құрамдар 5.0-35 МПа сығылу және 0.7-3.4 МПа иілу кезіндегі беріктік шектеріне қатысты МЕМСТ 8462-85 талаптарына сәйкес келетінін атап өткен жөн.

Каолинмен байытылған силикат кірпішінің суды сіңіру қабілеті автоклавпен өңдеуден кейін 28 тәуліктен кейін анықталды. Сынақ нәтижелері 3-суретте көрсетілген.

Суды сіңірудің өзгеруі, деректерді талдаудан көрініп тұрғандай, байытылған каолиннің әсерінен кірпіш құрылымының кеуектілігінің өзгеруіне байланысты, бұл қоспаның түйіршікті құрамының, қалыптың ылғалдылығының және тығыздау кезіндегі меншікті қысымның тікелей функциясы. Байытылған каолиннің (2 %, 5 % және 10 %) суды сіңіру қабілетін зерттеудің нәтижелері МЕМСТ 7025-91 талаптарына сәйкестігін көрсетеді. Бұл МЕМСТ-ке сәйкес силикат кірпішінің суды сіңіруі 6-16 % аралығында болуы керек.

Силикатты кірпіштің радиациялық қауіпсіздігін бағалау үшін белсенді табиғи радионуклидтерді анықтайтын радиометрді қолдана отырып, табиғи радионуклидтердің нақты тиімді белсенділігі анықталды. Сынақ нәтижелері 4-суретте көрсетілген.

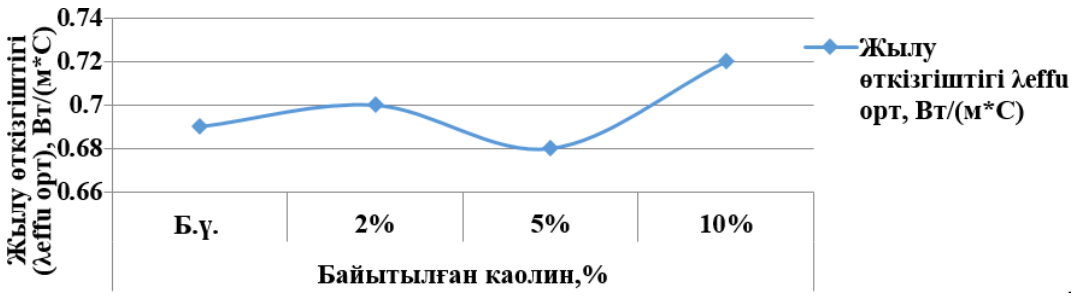


4 - сурет. Байытылған каолин қосылған силикат кірпішінің БТР тиімді үлестігінің қоспа мөлшеріне тәуелділігі

МЕМСТ 30108-94 сәйкес силикатты кірпіштің табиғи радионуклидтерінің меншікті тиімді белсенділігі 370 Бк/кг-н аспауы тиіс. Барлық зерттелген үлгілер үшін алынған мәндер рұқсат етілген деңгейден аспайды.

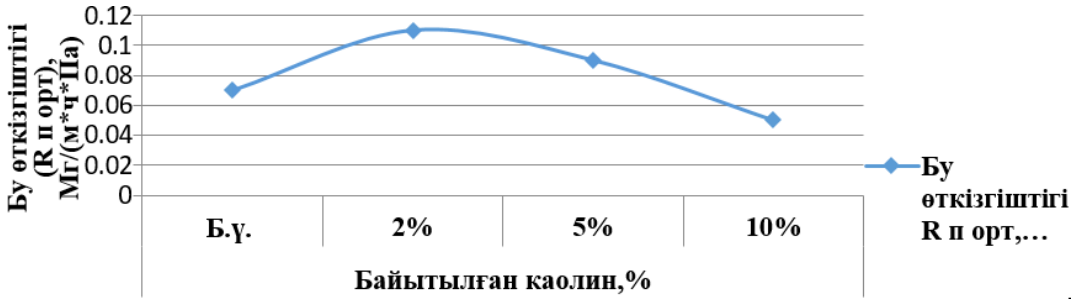
МЕМСТ 379-2015 сәйкес силикатты кірпіштің жылу өткізгіштігі 0,69 Вт/(м*С)-н аспауы керек. Нәтижелер бақылау үлгісі мен 5% байытылған каолин бар үлгілер МЕМСТ талаптарына сәйкес келетінін көрсетеді. Бұл жағдайда силикат кірпішінің жылу өткізгіштік коэффициенті шамамен 0,69 Вт/(м*С) құрайды, бұл керамикалық аналогтан 1,5 есе көп, бұл оның жылу үнемдеу қасиеттерін жақсартады

Каолинмен байытылған силикат кірпішінің жылу өткізгіштігін сынау нәтижелері 5-суретте көрсетілген.



5 - сурет. Байытылған каолин қосылған силикат кірпішінің жылу өткізгіштігінің қоспа мөлшеріне тәуелділігі

Бу өткізгіштігі құрылыс материалының, су буын өткізу қабілетін анықтайтын, маңызды сипаттамасы болып табылады. Каолинмен байытылған силикат кірпішін сынау нәтижелері 6-суретте көрсетілген.



6 - сурет. Байытылған каолин қосылған силикат кірпішінің бу өткізгіштігінің қоспа мөлшеріне тәуелділігі

Бу өткізгіштігін өлшеу, каолинді силикат кірпішінің су буының диффузиясына жоғары қабілеті бар екендігін көрсетті, бұл қоршау құрылымдарында табиғи ауа алмасуды қамтамасыз етеді. Каолинмен байытылған силикат кірпішінің бу өткізгіштігінің қоспаның мөлшеріне тәуелділігі МЕМСТ 379-2015 бойынша 0,11 Мг/(м*с*Па) болуы керек. Қоспаның берілген дозаларына сәйкес, 2 % байытылған құм қосылған силикат кірпішінің мөлшері 0,11 Мг/(м*с*Па) құрайды, бұл осы материалды энергияны үнемдейтін құрылыста «тыныс алатын» қабырғалар үшін қолайлы етеді [8].

Барлық көрсеткіштер (беріктік, суды сіңіру, жылу өткізгіштік, радиациялық қауіпсіздік) нормативтік талаптар шегінде болып табылады. Құмды-сазды жыныстарды пайдалану материал құрылымының тиімділігін арттыруға және автоклавтау қысымын төмендету арқылы энергия шығынын азайтуға мүмкіндік береді.

Байытылған каолиннің фазалық құрамның қалыптасуына және силикат кірпішінің гидратациялық белсенділігіне әсерін бағалау үшін құрамында 2 %, 5 % және 10 % каолин бар үлгілерге рентгендік фазалық талдау (РФТ) жүргізілді. Алынған эксперименттік деректер 2-кестеде келтірілген.

Модификацирленген силикат кірпішінің фазалық құрамы келесі фазалармен ұсынылған: кварц және кристобалит, муллит, гематит, магнетит, анортит, фельдшпат.

Рентгендік фазалық талдауға сүйене отырып, құрамында 2 % каолин болған кезде, кварц (SiO_2) және кристобалит (SiO_2) қоспасы кварц дәндерінің бетінде гидратталған кальций силикаттарының (CSH) түзілуіне әкелетінін көруге болады.

2 % каолинді құрамдағы рентгендік фазалық талдауға сүйене отырып, кварц (SiO_2) және кристобалит (SiO_2) қоспасы кварц дәндерінің бетінде гидратталған кальций силикаттарының (CSH) түзілуіне әкеледі.

Силикат материалының құрылымында муллиттің ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_3$) болуы бастапқы шикізатта темір оксидінің (Fe_2O_3) болуын көрсетеді.

Автоклавталған үлгілердегі кристалдану орталықтары құрамы мен құрылымының жергілікті ауытқуларына байланысты гомогенді және гетерогенді ортада қалыптасуы мүмкін. Гомогенді кристалдану жағдайында бөлінетін кристалдардың құрамы кристалдану орталықтарының құрамына сәйкес келеді. Гетерогенді кристалдану бөгде фазалардың бетінде жүреді.

Анортиттің ($CaAl_2Si_2O_8$) түзілуі силикат кірпішінің беріктігіне, жылу өткізгіштігіне және бу өткізгіштігіне оң әсер етеді.

РФТ нәтижелері каолинмен байытылған силикат кірпішіндегі құм мен әктастың көбеюін, сондай-ақ дифрактограммада 0,255 Å мәндерінде жаңа фаза – магнетиттің (Fe_3O_4) түзілуі байқалатынын көрсетеді.

2 - кесте. Каолиннің әртүрлі мөлшерімен байытылған силикат кірпішінің фазалық құрамын рентгендік фазалық талдау (РФТ) деректері

Фаза / d/n (Å)	2 % каолин	5 % каолин	10 % каолин
Кварц (SiO2)	0,181; 0,197; 0,245; 0,334; 0,370; 0,425	0,181; 0,197; 0,245; 0,334; 0,370; 0,425	0,181; 0,197; 0,245; 0,334; 0,370; 0,425
Кристобалит (SiO2)	0,201; 0,232; 0,415	0,201; 0,232; 0,415	0,201; 0,232; 0,415
Муллит (3Al2O3·2SiO3)	0,211; 0,220; 0,344	0,211; 0,220; 0,344	0,211; 0,220; 0,344
Гематит (Fe2O3)	0,226	0,226	0,226
Магнетит (Fe3O4)	–	0,255	0,255
Анортит (CaAl2Si2O8)	0,324	0,324	0,324
Фельдшпат (K2O·Al2O3·6SiO2)	–	–	0,190; 0,299; 0,319

Құрамында 5 % каолин болған кезде, әртүрлі шығу тегі болуы мүмкін (метаморфты, магмалық, шөгінді) магнетит құрылымының пайда болуы (Fe_3O_4), силикат кірпішінің құрылымына қатайтатын әсер етеді және сығылу беріктігін арттыруға көмектеседі [9].

Құрамында 10 % каолин бар болғандағы дифрактограмма деректерін талдау, кварц пен кремний оксиді шыңдарының (0,181; 0,197; 0,201; 0,232; 0,245; 0,370; 0,415; 0,425 Å) қарқындылығының жақсы кристалданған аймақтардың көптігімен сипатталатынын көрсетеді. Шыңның қарқындылығының 0,334 Å жоғарылауы және шыңның қарқындылығының 0,370 Å төмендеуі, құрылымның бос жерлерінде орналасқан ұсақ кристалдардың пайда болуын көрсетуі мүмкін, бұл силикат кірпішінің тығыздалуына әкеледі.

Алюмосиликаттар ($K_2O·Al_2O_3·6SiO_2$) болып табылатын, дала шпаттарының құрамында алюминий оксиді (Al_2O_3), калий оксиді (K_2O) және кремний оксиді (SiO_2) бар. Дала шпатының (0,190; 0,299; 0,319 Å) болуы оның магмалық, метаморфтық және шөгінді жыныстардың құрамына кіретін негізгі тау жыныстарын құрайтын минерал ретіндегі рөлін көрсетеді. Муллит кристалдарының ерекше формасы бастапқы материалдардағы Fe_2O_3 құрамының жоғары болуына байланысты болуы мүмкін. Қатты ерітінділер пайда болған кезде әртүрлі химиялық құрамдағы муллит түзілетіні белгілі, бұл жағдайда Fe^{3+} ионы Al^{3+} ауыстырады. Темір оксидін қатты ерітіндіге енгізу муллиттің кристалдануына әкеледі. Сұйық фаза жабынды тығыздайды, желімделген материалдардың құрылымдық ақауларына әсер етеді және керамикалық фазаның қалыптасу процесіне белсенді қатысады. Гематит (0,226 Å) және анортит (0,324 Å) шыңдарының пайда болуы материалда ылғалды ұсталуы уақытына әсер етеді.

Осылайша, байытылған каолинді 10 % масс. дейін енгізу магнетит, муллит және анортит фазаларының пайда болуына әкеледі және силикат кірпіштің пайдалану қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді. Муллит ыстыққа төзімділік пен тығыздықты арттырады, магнетит механикалық қатайтуға ықпал етеді, анортит жылу өткізгіштік пен ылғалға төзімділікті жақсартады, ал дала шпаты материалдың біркелкілігін жақсартатын кристалды жақтауды құрайды [10]. Бұл нәтижелер рентгендік фазалық талдау нәтижелерімен және зерттелген үлгілердің физика-механикалық сипаттамаларының жоғарылауымен расталады.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижесінде Батыс Қазақстан облысының жергілікті шикізатын қолдана отырып, силикатты кірпіш өндіруге арналған технологиялық шешімдер әзірленді және негізделді.2 %, 5 % және 10 % концентрациясында жергілікті кен орнының байытылмаған және байытылған каолин қоспалары-

мен модификацирленген үлгілерді салыстырмалы физика-механикалық сынау жүзеге асырылды.

Автоклавты өңдеуді 175-200 °С температурада және 0,8 МПа қысымда қолдану кальций гидросиликаттарын синтездеу процестерін күшейту арқылы силикат кірпішінің берік құрылымын қалыптастыруға ықпал ететіні анықталды.10 % байытылған каолинді енгізу бақылау құрамымен салыстырғанда 45 %-ға дейін сығылу беріктігінің статистикалық маңызды жоғарылауын қамтамасыз ететіні эксперименталды түрде расталды.28 тәуліктік қатаюдан кейін силикат кірпішінің суды сіңіруін талдау нормативтік талаптарға сәйкестігін көрсетті. Алынған материалдағы табиғи радионуклидтердің тиімді үлестік белсенділігі 370 Бк/кг белгіленген шектен аспайтыны анықталды.

Термофизикалық сипаттамаларды кешенді зерттеу 5 % байытылған каолин қосылған силикат кірпішінің жылу өткізгіштік коэффициенті шамамен 0,69 Вт/(м•К) екенін анықтады, бұл дәстүрлі керамикалық кірпіш үшін ұқсас көрсеткіштен 50 % жоғары және әзірленген материалдың жылу оқшаулау қасиеттерінің жоғарылағанын көрсетеді. Шикізат қоспасының құрамындағы компоненттердің оңтайлы арақатынасы 0,11 мг/(м•с•Па) деңгейінде бу өткізгіштігін қамтамасыз ететіні дәлелденді, бұл ғимараттардың қоршау конструкцияларында қолайлы микроклиматты сақтау үшін қолайлы жағдай жасайды.

Рентгендік фазалық талдау деректері силикат кірпішінің құрылымында, материалдың беріктігі мен пайдалану сипаттамаларына оң әсер ететін, кристалды фазалардың: муллит, магнетит, анортит және дала шпаттары түзілуін растады. Микроқұрылымды қалыптастыруда автоклавты өңдеу жағдайында Al^{3+} иондарын Fe^{3+} иондарымен алмастырудан туындаған муллиттің кристалдану процесі ерекше рөл атқарады, бұл кеуектіліктің төмендеуіне және материалдың тығыздығының жоғарылауына әкеледі.

Осылайша, нормативтік құжаттаманың талаптарын қанағаттандыратын, жақсартылған физика-механикалық сипаттамалары бар силикат кірпішін өндіру үшін, алдын ала байыту процесіне ұшыраған, жергілікті саз шикізатын пайдаланудың принципиалды мүмкіндігі көрсетілген. Жүргізілген зерттеу нәтижелері Батыс Қазақстан өңірінде силикат бұйымдарының өнеркәсіптік өндірісіне енгізу үшін ұсынылуы мүмкін, бұл жергілікті шикізат ресурстарын ұтымды пайдалану есебінен құрылыс саласының экономикалық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер

1. Normatov I., Kamolov E. V. Development of an algorithm for optimizing the technological process of kaolin enrichment // IEEE International IOT. Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS). - 2020: 9216371. - P.1-4. DOI 10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216371.

2. Tauler E., Xu J., Campeny M., et al. A new kaolin deposit in Western Africa: Mineralogical and compositional features of kaolinite from Caluquembe (Angola) // Clays and Clay Minerals. -2019. - Vol 67(3). - P.228-243. DOI 10.1007/s42860-019-00021-4.

3. Казначеева Н. М., Крахмаль Ю. А., Примаченко В. В. Термодинамический анализ твердофазовых реакций образования волластонита из различных сырьевых компонентов // Сб. научных трудов ОАО «УкрНИИО им. А. С. Бережного». - 2008. - № 8. - С.130-137.

4. Yankova T. Mineral processing waste utilization // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM.-2020.-Т.20 (11).- P.821-828. DOI 10.5593/sgem2020/1.1/s04.100.

5. Шачнева Е. Ю. Термодинамика в современной химии/Русайнс. - 2024. - 209 с. ISBN:978-5-4365-9132-2.

6. Арсентьев В. А., Герасимов А. М., Мезенин А. О. Исследование технологии обогащения каолинов с использованием гидротермального модифицирования // Обогащение руд. - 2017. - № 2. -

С.3-9.

7. Кузнецова Г. В., Морозова Н. Н., Ишмухаметов Д. А, Мухарлямова А. Р. Схемы укладки силикатных изделий на вагонетку с учетом упаковки и энергоэффективность автоклавной тепловой обработки//Строительные материалы.-2023.- № 10.- С.109-115. DOI 10.31659/0585-430X-2023-818-10-109-115.

8. PROrynok. Kirpich.URL: URL: http://www.stroymat.ru/articles/tb-6-2021/pro_market_kirpich_2021_08.pdf. - Қаралған күні: 09.05.2025.

9. Семенов А. А. Итоги развития российского рынка стеновых материалов в 2021 г. // Строительные материалы. - 2022. - № 3. - С.44-45. DOI 10.31659/0585-430X-2022-800-3.

10. Денисов Д. Ю., Ковков И. В., Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Использование технолгенного сырья для производства керамических композиционных материалов // Башкирский химический журнал. - 2007. -Т. 14(4). - С.79-82.

References

1. Normatov I., Kamolov E. V. Development of an algorithm for optimizing the technological process of kaolin enrichment // IEEE International IOT. Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS). - 2020: 9216371. - P.1-4. DOI 10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216371.

2. Tauler E., Xu J., Campeny M., et al. A new kaolin deposit in Western Africa: Mineralogical and compositional features of kaolinite from Caluquembe (Angola) // Clays and Clay Minerals. -2019. - Vol 67(3). - P. 228-243. DOI 10.1007/s42860-019-00021-4.

3. Kaznacheeva N. M., Krahmal’ Ju. A., Primachenko V. V. Termodinamicheskij analiz tverdofazovyh reakcij obrazovanija vollastonita iz razlichnyh syr’ evyh komponentov // Sb. nauchnyh trudov OAO «UkrNIIO im. A. C. Berezhnogo». - 2008. - № 8. - S. 130-137. [in Russian]

4. Yankova T. Mineral processing waste utilization // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM.-2020.-T.20 (11).- P.821-828. DOI 10.5593/sgem2020/1.1/s04.100.

5. Shachneva E. Ju. Termodinamika v sovremennoj himii/Rusajns. - 2024. - 209 s. ISBN:978-5-4365-9132-2. [in Russian]

6. Arsent’ ev V. A., Gerasimov A. M., Mezenin A. O. Issledovanie tehnologii obogashhenija kaolinov s ispol’ zovaniem gidrotermal’ nogo modificirovanija // Obogashhenie rud. - 2017. - № 2. - S.3-9. [in Russian]

7. Kuznecova G. V., Morozova N. N., Ishmuhametov D. A, Muharljamova A. R. Shemy ukladki silikatnyh izdelij na vagonetku s uchetom upakovki i jenergojeffektivnost’ avtoklavnoj teplovoj obrabotki//Stroitel’ nye materialy.-2023.- № 10.- S.109-115. DOI 10.31659/0585-430X-2023-818-10-109-115. [in Russian]

8. PROrynok. Kirpich.URL: URL: http://www.stroymat.ru/articles/tb-6-2021/pro_market_kirpich_2021_08.pdf. - Қaralған kүni: 09.05.2025.

9. Semenov A. A. Itogi razvitija rossijskogo rynka stenovyh materialov v 2021 g. // Stroitel’ nye materialy. - 2022. - № 3. - S. 44-45. DOI 10.31659/0585-430X-2022-800-3.[in Russian]

10. Denisov D. Ju., Kovkov I. V., Abdrahimov V. Z., Abdrahimova E. S. Ispol’ zovanie tehnolgennogo syr’ ja dlja proizvodstva keramicheskih kompozicionnyh materialov // Bashkirskij himicheskij zhurnal. - 2007. -T.14(4). - S.79-82. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Ниязбекова А.Б.- химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: abnyazbekova@mail.ru;

Байтлесова Л.И. - химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: beu64@mail.ru;

Алмагамбетова М.Ж. - техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан. e-mail: maira0815@mail.ru;

Губайдуллина Г.М.- техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: ggulkhan@mail.ru;

Жунусова Э.Б. - техника ғылымдарының кандидаты, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: tahmina.66@mail.ru;

Усенкулова Ш.Ж. – PhD доктор, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: Sholpan1990@gmail.com;

Information about the authors

Niyazbekova A.B. - candidate of chemical Sciences, Associate Professor, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Kazakhstan,e-mail: abnyazbekova@mail.ru;

Baytlesova L.I. - candidate of chemical Sciences, Associate Professor, West Kazakhstan Innovation and Technology University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: beu64@mail.ru;

Almagambetova M.Z. - candidate of technical Sciences, Associate Professor, West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: maira0815@mail.ru;

Gubaidullina G.M.- candidate of technical Sciences, Associate Professor, West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir Khan, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: ggulkhan@mail.ru;

Zhunussova E.B.- candidate of technical Sciences, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: tahmina.66@mail.ru;

Ussenkulova Sh.Zh. - PhD doctor, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan. e-mail: Sholpan1990@gmail.com.

МРНТИ 61.53.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1207**

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕЙ И ИХ ПРОДУКТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ПИРОЛИЗА

[1,2]Н.У. Нургалиев✉, [1,2]Е.К. Айбульдинов✉, [1]Ж.Б. Искакова✉, [3]А. Колпек, [3]А.С. Сабитов, [1,3]Л.А. Кусепова

[1]Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3]Кафедра химии, факультет естественных наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
✉Корреспондент-автор: nurgaliev_nao@mail.ru, elaman_@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru

Использование угля, являющегося одним из наиболее потребляемых видов ископаемого топлива в мире, обладающее обширными и долгосрочными разведанными запасами, часто приводит к таким проблемам, как низкая энергоэффективность и загрязнение окружающей среды [1]. В данном случае, пиролиз является важным методом достижения эффективного и экологически чистого использования угля, а также представляется универсальной альтернативой, позволяющей термически разлагать широкий спектр марок угля. В связи с этим, в этой статье проведен пиролиз углей трех месторождений Казахстана (Богатырь, Борлы, Майкубен) в реторте Фишера при 520 °С. Определены физико-химические свойства углей и выходы пиролизных продуктов, таких как смола, полукокс и горючий газ. Наибольшие выходы смолы и газа наблюдаются от углей месторождений Борлы и Майкубен соответственно. Компонентный состав газа, полученный в результате пиролиза углей, проводили хроматографическим методом анализа, а вещественный состав смол полукоксования после их деасфальтизации пентаном определяли методом газовой хроматомасс-спектрометрии. Минеральный состав и микроструктурный анализ золы углей проводили соответственно методами рентгенофлуоресцентного анализа и сканирующей электронной микроскопии.

Ключевые слова: уголь, пиролиз, смола, горючий газ, полукокс, зола угля

ПИРОЛИЗ ӘДІСІМЕН АЛЫНҒАН КӨМІРЛЕР МЕН ОЛАРДЫҢ ӨНІМДЕРІНІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

[1,2]Н.У. Нургалиев✉, [1,2]Е.К. Айбульдинов✉, [1]Ж.Б. Искакова✉, [3]А. Колпек, [3]А.С. Сабитов, [1,3]Л.А. Кусепова

[1]Жаңа химиялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Қ.Құлажанов атындағы технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Химия кафедрасы, жаратылыстану ғылымдар факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru, elaman_@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru

Кең ауқымды және ұзақ мерзімді барланған қорлары бар әлемдегі ең көп тұтынылатын қазба отындарының бірі болып табылатын көмірді пайдалану көбінесе энергия тиімділігінің төмендігі және қоршаған ортаның ластануы сияқты мәселелерге әкеледі [1]. Осындай жағдайда пиролиз әдісі көмірді тиімді және экологиялық таза пайдалануға қол жеткізудің маңызды әдісі болып табылады, сонымен қатар көмір маркаларының кең ауқымын термиялық ыдыратуға мүмкіндік беретін әмбебап балама ретінде ұсынылған. Осыған байланысты, осы мақалада 520 °С температурада Фишер ретортында Қазақстанның үш кен орнының (Богатырь, Борлые, Майкубен) көмірін пиролиздеу жүргізілді. Көмірдің физика-химиялық қасиеттері және шайыр, жартылай кокс және жанғыш газ сияқты пиролиз өнімдерінің шығымы анықталды. Шайыр мен газдың ең үлкен шығымы сәйкесінше Борлық және Майкубен кен орындарының көмірінен байқалады. Көмірдің пиролизінен алынған газдың компоненттік құрамы хроматографиялық талдау әдісімен жүргізілді, ал пентанмен

деасфальтталғаннан кейін жартылай кокстелген шайырлардың заттық құрамы газ хроматомасса-спектрометрия әдісімен анықталды. Көмір күлінің минералды құрамы мен микроқұрылымдық талдауы сәйкесінше рентгенофлуоресцентті талдау және сканерлеуші электронды микроскопия әдістерімен жүргізілді.

Түйін сөздер: көмір; пиролиз; шайыр; жанғыш газ; жартылай кокс; көмір күлі

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF COALS AND THEIR PRODUCTS OBTAINED BY PYROLYSIS

[1,2]N.U. Nurgaliyev✉, [1,2]Ye.K. Aibuldinov✉, [1]Zh.B. Iskakova✉, [3]A. Kolpek, [3]A.S. Sabitov, [1,3]L.A. Kusepova

[1]Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,
[3]Department of Chemistry, Faculty of Natural Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru, elaman_@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru

The use of coal, which is one of the most consumed fossil fuels in the world, with extensive and long-term proven reserves, often leads to such problems as low energy efficiency and environmental pollution [1]. In this case, pyrolysis is an important method to achieve efficient and environmentally friendly use of coal, and also appears to be a universal alternative that allows thermal decomposition of a wide range of coal grades. In this regard, in this article, pyrolysis of coals from three deposits in Kazakhstan (Bogatyr, Borly, Maikuben) was carried out in a Fischer retort at 520 °C. The physicochemical properties of coals and the yields of pyrolysis products such as tar, semi-coke and combustible gas were determined. The highest yields of tar and gas were observed from coals from the Borly and Maikuben deposits, respectively. The component composition of the gas obtained as a result of coal pyrolysis was analyzed using a chromatographic method, and the material composition of the semi-coking resins after their deasphalting with pentane was determined using gas chromatograph mass spectrometry. The mineral composition and microstructural analysis of coal ash were carried out using X-ray fluorescence analysis and scanning electron microscopy, respectively.

Keywords: coal, pyrolysis, resin, combustible gas, semi-coke, coal ash

Введение. Для рационального использования угля необходимо понимать его внутреннюю структуру. Органическая часть угля обычно рассматривается как сложный полимер с высокой степенью сшивки, включающий в себя как ароматические, так и алифатические фрагменты [2,3]. При этом угли на разных стадиях метаморфизма обладают заметными различиями в строении, что, в свою очередь, отражается на их промышленном применении [4]. Поэтому детальное понимание структуры углей различных степеней метаморфизма крайне важно для эффективной переработки и использования этих ресурсов.

Продвижение чистых технологий переработки угля имеет решающее значение для повышения энергоэффективности и снижения выбросов углерода [5]. Традиционные термохимические процессы, такие как коксование (при температуре 1000-1100°C) и газификация (1000-1600°C), позволяют перерабатывать уголь в металлургический кокс и синтез-газ соответственно. Однако такие процессы сталкиваются с присущими им ограничениями: коксование требует специальных спекающихся углей и приводит к образованию значительного количества полициклических ароматических углеводородов, в то время как газификация влечет за собой существенные энергетические потери из-за экстремальных условий эксплуатации и сложных требований к очистке газа [6]. В связи с этим, среди существующих технологий термической переработки угля пиролиз считается сегодня одним из наиболее перспективных и активно изучаемых методов и особенно эффективен для обработки низкокачественного угля, нефтешламов и других подобных отходов. Пиролиз является ключевым этапом множества процессов, таких как газифика-

ция, сжигание, сжижение и карбонизация. Эти процессы, как правило, осуществляются в системах с инертной, восстановительной или окислительной атмосферой при различных условиях давления и времени реакции. Одним из главных продуктов пиролиза угля является каменноугольная смола, представляющая значительную ценность как сырье. Смола может использоваться для получения таких веществ, как олефины [7,8], ароматические соединения [9], а также материалы на ее основе [7].

Например, смоляные фракции могут перерабатываться в такие химические продукты, как бензол, толуол и фенольные смолы. Кроме смолы в результате пиролиза образуются также такие ценные продукты как горючий газ и твердый остаток (кокс, полукокс в зависимости от температуры пиролиза). Пиролизный газ используется в качестве топлива для промышленного отопления или производства водорода [10], а твердый остаток может служить чистым твердым топливом для производства электроэнергии или как сырьеё для газификации. Таким образом, одновременно решая вопросы эффективности использования ресурсов, гибкости производства и контроля выбросов, пиролиз зарекомендовал себя как перспективный путь использования ископаемого топлива.

Целью данной работы является исследование процесса пиролиза (полукоксования) углей месторождений Богатырь, Борлы, Майкубен (Казахстан) с определением физико-химических свойств углей и продуктов их термического разложения.

Материалы и методы. Для проведения анализа исходного угля готовили аналитическую пробу. Для оценки химического состава золы угля была приготовлена проба в количестве 10 грамм.

Таблица 1 - Режим нагрева навески угля

Время от начала нагревания мин.	Температура, °С
10	220
20	310
30	380
40	440
50	480
60	505
70	520
80	520

Для проведения процесса низкотемпературного пиролиза угля предварительно была отобрана аналитическая проба угля весом 0,6 кг и подготовлена усредненная проба для проведения процесса пиролиза в реторте Фишера. Уголь высушивали на воздухе до достижения приблизительного равновесия между влажностью пробы и окружающей атмосферы. Проба угля была осторожно измельчена так, чтобы не менее 90% ее проходило через сито с отверстием размером 1 мм и не более чем 50% через сито 0,2 мм. Подготовленную пробу хранили в герметически закупоренной емкости. Навеску угля (50 г) нагревали в алюминиевой реторте до 520°С в течение 80 минут в соответствии с режимом нагрева, приведенном в таблице 1. Продукты разложения направляли в приемник, охлаждаемый водой со льдом. Смола и вода конденсировались. Газообразные продукты после отбора проб для анализа выбрасывались в атмосферу. Выходы продуктов

полукоксования образцов углей определяли в соответствии с ГОСТ 3168-93. Определение компонентного состава газа, полученного в результате пиролиза угля, проводили на хроматографе ЛХМ-8 МД.

Вещественный состав смол полукоксования после их деасфальтизации пентаном определялся методом газовой хроматомасс-спектрометрии на приборе Agilent Technolog. Условия хроматографирования: капиллярная колонка DB-Petro (полидиметилсилоксан) длиной 100 м, подъем температуры от 50 до 290ºС со скоростью 10ºС/-мин, далее – изотерма. Минеральный состав золы углей проводили методом рентгенофлуоресцентного анализа на энергодисперсионном рентгеновском спектрометре Epsilon 4 (Malvern Panalytical), напряжение рентгеновской трубки 50 кВ, ток до 0,5 мА, атмосфера - вакуум. Микроструктурный анализ золы, образовавшейся после пиролиза углей, проводили методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) с помощью микроскопа JSM-6390LV с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80. Рабочие параметры прибора составляли: ускоряющее напряжение – 20 кВ, ток – 0,5 нА, режим высокого вакуума.

Обсуждение и результаты. Результаты определения физико-химических характеристик исследуемых образцов углей различных месторождений (далее – уголь Богатырь, уголь Борлы, уголь Майкубен) приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Физико-химические показатели образцов углей различных месторождений

Показатель	уголь Богатырь	уголь Борлы	уголь Майкубен
W^{daf}, %	4,32	5,34	9,64
V^{daf}, %	31,74	22,31	48,59
A^{daf}, %	45,04	47,38	22,49
C^{d}, %	81,86	84,41	75,21
H^{d} , %	7,24	5,96	6,02
O^{d}, %	9,28	6,94	17,25
N^{d}, %	1,27	1,19	1,07
S^{d}, %	0,35	1,50	0,45

Как видно из таблицы 2, угли Богатырь и Борлы характеризуются высоким содержанием зольности, составляющей свыше 40%, и небольшим количеством летучих веществ. Вместе с тем, у угля Майкубен наблюдается наименьшее содержание углерода, а также наибольшее содержание летучих веществ, влажности и кислорода, ввиду того, что данный уголь является бурым окисленным углем, что непосредственно определяет его соответствующие физико-химические свойства.

Выход и состав продуктов полукоксования образцов углей в стандартной реторте приведены в таблицах 3 и 4.

Результаты анализа выхода продуктов (получаемых из образцов угля) показали, что наибольшие выходы смолы (более 7%) и газа (более 11%) наблюдается соответственно у углей Борлы и Майкубен. Низкая зольность и высокое количество летучих веществ угля Майкубен, по-видимому, способствует наименьшему содержанию полученного полукокса (~70%). Вместе с тем, из-за высокой зольности и небольшого количества летучих веществ в результате пиролиза углей Богатырь и Борлы получается большой выход полукокса (превышающем 80%), при этом у Борлы наблюдаются более высокие выходы как смолы, так и газа.

Таблица 3 - Выход продуктов полукоксования образцов углей различных месторождений

Продукт	уголь Богатырь		уголь Борлы		уголь Майкубен	
	a	d	a	d	a	d
Полукокс	89,44	90,64	81,99	83,01	66,54	73,64
Смола	3,66	3,71	7,73	7,85	4,04	4,47
Вода пирогенетическая	2,28	2,31	1,70	1,73	8,31	9,20
Газ	3,30	3,34	6,88	7,41	11,47	12,69
Wa	1,32	-	1,70	-	9,64	-
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Примечание: a – на аналитическую пробу, d – на сухое состояние.

Как видно из таблицы 4, несмотря на более низкие показатели выходов жидких и газообразных продуктов, смола угля Богатырь характеризуется относительно высоким содержанием водорода (≈9%), что может указывать на высокую реакционную способность и высокую степень ароматичности (присутствие насыщенных и ароматических соединений). Полукокс от угля Борлы имеет низкое содержание углерода, водорода и высокую зольность, что указывает на его низкое качество и возможность неэффективного использования в качестве энергетического топлива, а также сырья в химическом синтезе и др. Однако в полукоксе, полученном от угля Майкубен, наблюдается низкое содержание зольности (≈12%) и достаточное количества углерода (≈81%), из-за чего такой материал можно использовать в ряде отраслей промышленности, например, в качестве твердого топлива в теплоэнергетике, углеродных материалов в химической промышленности и экологии и др.

Таблица 4 - Элементный состав продуктов полукоксования углей различных месторождений

Образец	Содержание, % мас.					
	Продукт	C	H	N	S	A
уголь Богатырь	Смола	85,56	9,45	0,28	отс.	-
	Полукокс	56,89	1,64	0,40	отс.	39,30
уголь Борлы	Смола	89,48	6,21	0,31	отс.	-
	Полукокс	27,80	0,91	0,41	0,18	70,10
уголь Майкубен	Смола	83,63	7,01	0,57	0,40	-
	Полукокс	81,52	1,03	0,77	отс.	12,46

Результаты элементного состава пиролизного газа показали, что основными ценными компонентами газообразных продуктов являются водород, метан, оксид углерода, а также в небольших количествах – этилен, этан, пропилен, пропан и др., содержащиеся в относительно небольших количествах (таблица 5).

Таблица 5 - Состав газа полукоксования углей различных месторождений

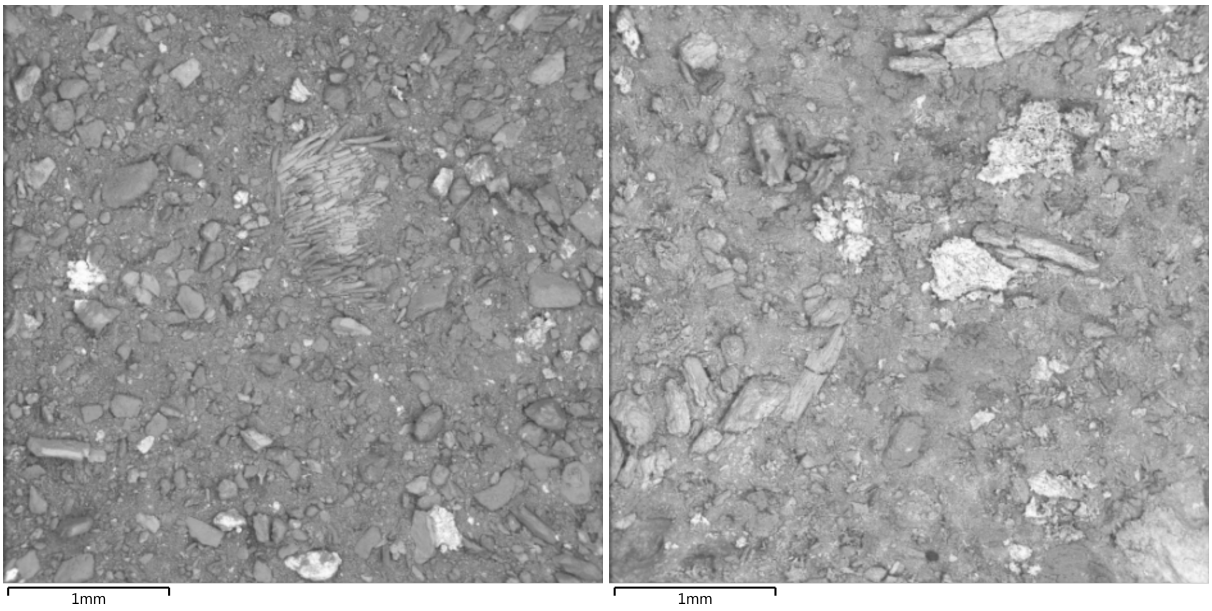
№	Компонент	Содержание, %		
		Богатырь	Борлы	Майкубен
1	Водород	20.5	17.3	21.4
2	Метан	6.5	11.3	6.5
3	Этилен	1.6	2.1	5.0
4	Этан	1.2	2.3	2.4
5	Пропилен	2.5	1.0	4.1
6	Пропан	1.0	5.8	5.4
7	i-Бутан	0.3	1.3	0.7
8	Транс-2-бутен	1.1	1.6	2.9
9	n-Бутан	1.4	2.4	3.3
10	1-бутен	0.2	0.3	0.3
11	Цис-2-бутен	0.3	0.5	0.7
12	i-Пентан	0.5	1.0	1.1
13	n-Пентан	0.7	1.3	1.9
14	n-Гексан	0.0	0.0	0.0
15	С6 – С8	0.6	0.7	0.7
16	Монооксид углерода	24.3	21.3	19.5
17	Диоксид углерода	37.3	29.8	23.7
18	Сероводород	0.0	0.00	0.4

При высокой температуре пиролиза уголь в основном подвергается реакциям конденсационной полимеризации, в ходе которых в газообразных продуктах образуется большое количество H_2 [11]. Образование CH_4 происходит главным образом за счет расщепления алифатических боковых цепей и метоксигрупп [12], что в основном происходит на стадии реакции деполимеризации угля, соответствующей температурному диапазону 280-550 °С. Быстрая скорость повышения температуры способствует тому, что угольный пласт (или слой) проходит через эту стадию реакции быстрее, что приводит к снижению выхода CH_4. Образование CO_2 в основном происходит в результате декарбоксилирования алифатических углеводородов в низкотемпературном диапазоне 200-460°С [13]. Также CO_2 может быть получено путем расщепления боковых цепей алифатических углеводородов с кислородсодержащими функциональными группами, в основном в более высоком диапазоне 460-610°С [14]. Вместе с тем, CO в основном образуется в результате вторичного крекинга смолы [15].

Результаты рентгенофлуоресцетного анализа образцов золы углей, представленные в таблице 6, показали, что основными компонентами являются оксиды кремния, алюминия и железа. В золе Богатырь наблюдаются в наибольшем количестве компоненты SiO_2 и Al_2O_3, сумма которых составляет почти 88%. Зола Майкубен, напротив, характеризуется относительно невысоким содержанием SiO_2 и Al_2O_3 (менее 75%) и большим содержанием Fe_2O_3 (≈15%). Микроснимки пиролизной золы данных углей приведены на рисунке 1.

Таблица 6 - Минеральный состав золы углей

Зола	Содержание, % мас.										
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	Na_2O	MgO	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	MnO_2
Богатырь	22.51	65.00	5.51	0.51	0.61	0.78	0.35	0.53	2.63	1.34	0.23
Борлы	21.85	58.87	7.36	1.95	1.78	0.27	0.61	3.21	2.59	1.19	0.32
Майкубен	20.25	54.16	14.82	2.93	1.56	0.82	0.41	0.33	3.52	0.55	0.65



а) *б)*

Рис.1 - Микроснимки золы углей Богатырь (а) и Майкубен (б)

Микроскопический анализ золы, полученной при пиролизе различных углей, выявил существенные различия в морфологии поверхности, пористой структуре и степени спекания минеральной составляющей (рисунок 1). Зола угля Богатырь характеризуется относительно однородной морфологией с преобладанием округлых и овальных пор различного размера. Часть пор находится в сообщающемся состоянии, что свидетельствует о формировании развитой поровой сети. Поверхность частиц в целом гладкая, однако локально наблюдаются углубления и включения минеральной природы, при этом трещиноватость выражена слабо и ограничена микротрещинами. Степень спекания оценивается как умеренная: фиксируются отдельные зоны частичного плавления минеральной фазы, что способствует локальному слипанию частиц при сохранении общей пористости. В отличие от золы угля Богатырь, зола угля Майкубен имеет наиболее выраженную неоднородность, т.к. в структуре фиксируется сочетание крупных округлых пор и мелкопористых участков, распределенных неравномерно. Морфология поверхности варьируется от относительно гладкой (местами оплавленной) до грубозернистой. Трещиноватость высокоразвитая, при этом трещины различной протяженности образуют сетчатую конфигурацию. Степень спекания относительно высокая (по сравнению с золой угля Богатырь), т.к. в ряде областей наблюдается сплошное оплавление минеральной фазы и слияние ча-

стиц в монолитные агрегаты.

Выводы. Проведенное исследование пиролиза образцов углей показало, что данный процесс сопровождается преимущественным образованием твердого остатка–полукокса, при относительно незначительных выходах горючего газа и смолы. Полукокс, например, полученный от угля Майкубен, характеризуется достаточным количеством углерода (более 80 %), невысокой зольностью (около 12%) и отсутствием серы, что позволяет рассматривать такой продукт не только как качественное твердое бездымное топливо, но и в перспективе может использоваться как восстановитель в металлургических процессах. Газообразные продукты пиролиза исследуемых образцов углей, выход которых составил около 3-12%, отличаются относительно высоким содержанием горючих газов, таких как H_2, CO, CH_4 и могут быть вовлечены в энергетический баланс предприятий, повышая эффективность комплексного использования угля. Пиролизная смола, выход которой составил для всех образцов углей около 4-8%, представляет собой сырье для дальнейшей переработки с целью получения различных ценных химических продуктов с высокой добавленной стоимостью. Таким образом, процесс пиролиза обеспечивает производство энергоемких и химически ценных продуктов при одновременном снижении экологической нагрузки, что особенно актуально в условиях энергоперехода и поиска устойчивых решений в топливно-энергетическом комплексе.

Финансирование. *Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (№ BR21882171 «ЦУР 9.4: Развитие «зеленой» экономики Казахстана путем переработки минерального сырья и отходов методом пиролиза»).*

Литература

1. Yousuf M.U., Siddiqui M.A., Kumar M., Umair M. Life cycle assessment of lignite-fueled ultra-supercritical coal-fired power plant with evaluation of solar energy integration // Fuel. – 2025. – Vol.385:134079. DOI 10.1016/j.fuel.2024.134079.

2. Fabianska M., Kurkiewicz S. Biomarkers, aromatic hydrocarbons and polar compounds in the neogene lignites and gangue sediments of the Konin and Turoszow Brown coal basins (Poland) // International Journal of Coal Geology.-2013.-Vol.107.-P.24-44. DOI 10.1016/j.coal.2012.11.008.

3. Liu M., Yang J., Yang Y., Liu Z., Shi L., He W., Liu Q. The radical and bond cleavage behaviors of 14 coals during pyrolysis with 9,10-dihydrophenanthrene //Fuel. -2016.-Vol.182. - P.480-486. DOI 10.1016/j.fuel.2016.06.006.

4. Liu Z., Mu L., Feng C., Li X., Liu T., Jiang X., Bai H., Liu X. Generation and emission mechanism of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) during the coking process in Shanxi, China//Science of the Total Environment.-2024.-Vol.948:174619. DOI 10.1016/j.scitotenv.2024.174619.

5. Ju Y., Zhu Y., Zhang Y., Iglauer S., Pan B., Wang K. Microwave-aided pyrolysis and fragmentation of tar-rich coal and rocks for in situ coal conversion and clean utilization // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. - 2023.-Vol.167: 105391. DOI 10.1016/j.ijrmms.2023.105391.

6. Baysal M., Yürüm A., Yıldız B., Yürüm Y. Structure of some western Anatolia coals investigated by FTIR, Raman, 13C solid state NMR spectroscopy and X-ray diffraction // International Journal of Coal Geology. - 2016. - Vol.163(1). - P.166-176. DOI 10.1016/j.coal.2016.07.009.

7. Liu Y., Yao Q., Sun M., Ma X. Catalytic fast pyrolysis of coal tar asphaltene over zeolite catalysts to produce high-grade coal tar: an analytical Py-GC/MS study // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. - 2021. - Vol.156: 105127. DOI 10.1016/j.jaap.2021.105127.

8. Che Y., Shi K., Cui Z., Liu H., Wang Q., Zhu W., Tian Y. Conversion of low temperature coal tar

into high value-added chemicals based on the coupling process of fast pyrolysis and catalytic cracking // Energy. - 2023. - Vol.264: 126169. DOI 10.1016/j.energy.2022.126169.

9. Ma Z.-H., Wei X.-Y., Liu G.-H., Liu F.-J., Zong Z.-M. Value-added utilization of high-temperature coal tar: a review // Fuel. - 2021. - Vol.292: 119954. DOI 10.1016/j.fuel.2020.119954.

10. Qiao Y., Chen Z., Wu X., Li Z. Investigation on co-combustion of semi-coke and bituminous coal in oxygen-enriched atmosphere: Combustion, thermal conversion, and kinetic analyses // Energy. -2023.- Vol.269: 126816. DOI 10.1016/j.energy.2023.126816.

11. Yang H., Li Y., Xie Z., Cheng Y., Han Z., Jin L., Li Y., Hu H. Increasing condensation polymerization at a higher heating rate during coal pyrolysis and its mechanism // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. -2024. -Vol.177: 106361. DOI 10.1016/j.jaap.2024.106361.

12. Wu Y., Tao S., Wang Z., Cui Y., Jing Q., He W., Guo J., Hai L., Pan Z. Effect of pyrolysis atmospheres on gaseous products evolution of coal pyrolysis at high temperature // Fuel. – 2024. -Vol.366: 131336. DOI 10.1016/j.fuel.2024.131336.

13. Wang S., Tang Y., Schobert H., Guo Y., Gao W., Lu X. FTIR and simultaneous TG/MS/FTIR study of Late Permian coals from Southern China // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. -2013. -Vol.100. -P. 75-80. DOI 10.1016/j.jaap.2012.11.021.

14. He X., Zhu H., Huo Y., Wang W. Study on the Formation Mechanism of the Pyrolysis Products of Lignite at Different Temperatures Based on ReaxFF-MD//An Open Access Journal from the American Chemical Society.-2021.-Vol.6 (51).-P.35572-35583. DOI 10.1021/acsomega.1c05275.

15. Tian B., Qiao Y., Bai L., Feng W., Jiang Y., Tian Y. Pyrolysis behavior and kinetics of the trapped small molecular phase in a lignite // Energy Conservation and Managemant.-2017.- Vol.140.- P.109-120. DOI 10.1016/j.enconman.2017.02.077.

Сведения об авторах

Нургалиев Н.У. - кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Научно-исследовательский институт Новых химических технологий при Евразийском национальном университете им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Айбульдинов Е.К. - доктор PhD, Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Научно-исследовательский институт Новых химических технологий при Евразийском национальном университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: elaman_@mail.ru;

Искакова Ж.Б. - кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Научно-исследовательский институт Новых химических технологий при Евразийском национальном университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: zhanariskakova@mail.ru;

Колпек А. - кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: aynagulk@mail.ru;

Сабитов А.С. - докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: sawy552@gmail.com;

Кусепова Л.А. - кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: kusepova71@mail.ru.

Information about the authors

Nurgaliyev N.U. - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Aybuldinov E.K. - PhD, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: elaman_@mail.ru;

Iskakova Z.B. - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N.

Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanariskakova@mail.ru;

Kolpek A.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aynagulk@mail.ru;

Sabitov A.S. - Doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana Kazakhstan, e-mail: sabitov_as_1@enu.kz;

Kusepova L.A. - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kusepova71@mail.ru.

IRSTI 61.29.01, 87.51.14 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1178**

THE HYDROCHEMICAL REGIME AND CURRENT WATER QUALITY OF THE URAL RIVER: IN THE CONTEXT OF RURAL DRINKING WATER SUPPLY

[1]Ye. Kabiyev✉, [2]R. Berndtsson, [3]K. Tussupova

[1]Atyrau University Named After Kh. Dosmukhamedov, Atyrau, Kazakhstan,
[2]Lund University, Lund, Sweden,
[3]Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan
✉*Correspondent-author: yerlanustaz@gmail.com*

The Ural River is the main source of water supply for Atyrau Region, providing drinking water not only to the city of Atyrau but also to settlements in the Inder, Makhambet, and Makat districts. Therefore, its quality and hydrological regime are of strategic importance. In achieving SDG targets 6.1 and 6.2, related to access to safe drinking water and sanitation in Kazakhstan's rural areas, the hydrochemical regime of the Ural River and the influence of the hydrochemical water regime of the North-Eastern Caspian Sea play a crucial role.

This article presents hydro-physical and hydrochemical indicators obtained during field geo-ecological studies. Based on the chemical analysis of water samples from key sites, the current state and hydrochemical regime of surface waters are described.

Keywords: Ural River, hydrochemical regime, water quality, rural drinking water supply, SDG 6.1, SDG 6.2, safe drinking water access, sanitation, geo-ecological monitoring, hydro-physical indicators, nutrient concentrations.

ЖАЙЫҚ ӨЗЕНІНІҢ ГИДРОХИМИЯЛЫҚ РЕЖИМІ МЕН СУ САПАСЫНЫҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫ: АУЫЛДЫҚ АУМАҚТАРДЫ АУЫЗ СУМЕН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ТҰРҒЫСЫНАН

[1]Е. Кабиев✉, [2]Р. Берндтссон, [3]К. Тұсупова

[1]Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан,
[2]Лунд университеті, Лунд, Швеция,
[3]Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті, Тараз, Қазақстан,
e-mail: yerlanustaz@gmail.com

Жайық өзені Атырау облысының негізгі су көзі ретінде Атырау қаласымен қоса Индер, Махамбет, Мақат аудандарының елді-мекендерінің халқын ауыз сумен қамтамасыз етеді, сондықтан оның сапасы мен гидрологиялық режимі стратегиялық маңызға ие. Қазақстанның ауылдық аймақтарында қауіпсіз ауыз суға және санитарияға қол жеткізу жолында ТДМ 6.1 және 6.2 мақсаттарына жетуде Жайық өзененің және өзеннің гидрохимиялық режиміне әсер етуші Солтүстік-Шығыс Каспий теңізінің гидрохимиялық су режимі ұлкен маңызға ие.

Бұл мақалада далалық геоэкологиялық зерттеулер жүргізу кезінде алынған гидрофизикалық және гидрохимиялық көрсеткіштер көрсетілген. Негізгі телімдерден сынамаларды химиялық талдау нәтижелері бойынша зерттеу жасалып, беттік сулардың қазіргі жағдайы және гидрохимиялық режимі сипатталған.

Түйін сөздер: Жайық өзені, гидрохимиялық режим, су сапасы, ауылдық аумақтарды ауыз сумен қамтамасыз ету, ТДМ 6.1, ТДМ 6.2, қауіпсіз ауыз суға қолжетімділік, санитария, геоэкологиялық мониторинг, гидрофизикалық көрсеткіштер, қоректік заттар концентрациясы.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ УРАЛА: В КОНТЕКСТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ

[1]Е. Кабиев✉, [2]Ронни Берндтссон, [3]Камшат Тусупова

[1]*Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан,*
[2]*Лундский университет, Лунд, Швеция,*
[3]*Казахский национальный университет водного хозяйства и ирригации, Тараз, Казахстан,*
e-mail: yerlanustaz@gmail.com

Река Урал, являясь основным источником водоснабжения Атырауской области, обеспечивает питьевой водой население не только города Атырау, но и сельских населённых пунктов Индерского, Махамбетского и Макатского районов. Поэтому её качество и гидрологический режим имеют стратегическое значение. В контексте достижения целей устойчивого развития (ЦУР) 6.1 и 6.2, связанных с обеспечением доступа к безопасной питьевой воде и санитарии в сельских регионах Казахстана, особое значение приобретает гидрохимический режим реки Урал, а также влияние гидрохимического режима Северо-Восточной части Каспийского моря на реку.

В статье представлены гидрофизические и гидрохимические показатели, полученные в ходе полевых геоэкологических исследований. На основе результатов химического анализа проб, отобранных на основных участках, дана характеристика современного состояния поверхностных вод и гидрохимического режима реки.

Ключевые слова: река Урал, гидрохимический режим, качество воды, обеспечение сельских территорий питьевой водой, ЦУР 6.1, ЦУР 6.2, доступ к безопасной питьевой воде, санитария, геоэкологический мониторинг, гидрофизические показатели, концентрация питательных веществ.

Introduction. The hydrochemical regime of the Ural River delta is shaped by interactions with adjacent parts of the North-Eastern Caspian Sea, river discharge, exchange processes between water and bottom sediments, as well as meteorological conditions. During spring and autumn, southerly marine airflows transport polluted air masses to the northern part of the region, where toxic ingredients from the decomposition of atmospheric emissions participate in the overall “mass–energy” exchange of surface waters.

In recent years, the discharge of drainage waters has led to a sharp ecological concern, especially in autumn, with increased concentrations of pesticide and nitrate–nitrite compounds. These and other negative transformations in the geosystem are strongly expressed along the river flow from north to south. The annual runoff layer in the southern part of the region varies from 50 mm to 2 mm, while precipitation decreases from 350 mm to 200 mm in the same direction. Such aridization processes intensify the ecological instability of geosystems.

For this reason, background geo-ecological surveys were conducted in the Atyrau area during summer field expeditions between 2022 and 2024. As a result, hydro-physical and hydrochemical indicators were obtained, and the current state of water quality was comprehensively assessed. Surface water samples were collected at 10 monitoring points and analyzed with the assistance of the Ecosphere organization.

The eastern part of Atyrau represents a semi-enclosed water body, and its hydrological regime largely depends on the Ural River’s discharge. Under arid climatic conditions, water exchange in this area occurs mainly with the western part of the North Caspian. In terms of hydrochemistry, the surface waters of the delta differ from the general regime of the main water body: they are characterized by instability, strong seasonal fluctuations, and a high dependence on soil chemical properties [1].

Furthermore, along with freshwater inflows (snowmelt, the Ural River discharge and its branches), a significant portion of organic matter is transported into the North Caspian. Their concentration reaches maximum levels in the Ural delta. This phenomenon is of particular importance for the highly productive coastal part of the North Caspian, as the river’s discharge forms the ecological and biological raw material base of the marine water body.

Materials and methods. The research was carried out in the main channel of the Ural River,

the Primorsk Canal, and marine monitoring sites.

- Temperature was measured directly at the sampling Temperature was measured directly at the sampling sites using the thermometric method. The range was 12.2-19.1ºC, with an average of 15.65ºC.

- pH was determined using a portable pH meter. Values ranged from 6.20 to 8.80. During the flood period, pH dropped to 6.20-8.20, while the highest values (8.40–8.80) were recorded during the low-flow period.

- Turbidity was measured photometrically in NTU units. Results ranged between 12.0 and 82.3 NTU. The lowest values were recorded at marine sites (12.0-20.2 NTU), while the highest were observed in the Ural River and Primorsk Canal (33.4-58.9 NTU).

- Redox potential (Eh, mV) was measured with platinum electrodes and standard reference electrodes. Values ranged from 34 mV to 280 mV, with an average of 157 mV.

- Mineralization and nutrient concentrations (nitrogen, phosphorus compounds) were determined by photometric and titrimetric methods [2].

Results and Discussion. Nitrogen compounds.

Nitrate nitrogen (NO_3) varied within the range of 0.053 - 0.298 mg/L.

Nitrite nitrogen (NO_2) was recorded at levels of 0.006 - 0.020 mg/L.

Ammonium nitrogen (NH_4) was assessed as an indicator of organic pollution.

Phosphorus compounds were determined in accordance with seasonal changes: concentrations increased during the winter period, while decreasing in summer due to phytoplankton activity. The mineralization of water is known to be closely associated with river discharge [3].

All analyses were performed in accordance with national standards and international methodologies. Samples were processed under laboratory conditions in compliance with preservation requirements.

Dissolved oxygen.

During the spring period, dissolved oxygen ranged from 5.85 to 14.38 mg/L, with an average of 10.1 mg/L. These levels create favorable conditions for the survival of fish and other hydrobionts.

Hydrogen sulfide (H_2S).

Concentrations varied between 0.001 and 0.004 mg/dm³. Exceedances of the Maximum Permissible Concentration (MPC) were observed only in the estuarine section of the river, which is explained by the decomposition of organic matter.

Surface-active substances (SAS).

SAS concentrations ranged from 0.005 to 0.01 mg/dm³, with an average of 0.0075 mg/dm³. No exceedances of MPC were detected. The oil production sector was identified as the main source of SAS.

Organic pollution.

Indicators characterizing water quality included:

- Biochemical Oxygen Demand (BOD_5) - 0.282-0.313 mg/dm³.

- Chemical Oxygen Demand (COD) - 0.852 - 0.948 mg/dm³.

These values indicate that the waters are relatively clean.

Heavy metals.

The concentrations of heavy metals in water samples were recorded within the following ranges:

- Lead (Pb) - 0.02 - 0.070 mg/dm³;

- Zinc (Zn) - 0.001 - 0.154 mg/dm³;

- Iron (Fe) - 0.425 - 7.186 mg/dm³;

- Cadmium (Cd) - below 0.001 mg/dm³;

- Aluminum (Al) - 0.5 - 6.12 mg/dm³.

Elevated levels of iron and aluminum were registered at certain sites.

The increase in lead (Pb) concentrations observed in samples from points 5, 6, 7, and 10 is associated with hydrocarbon extraction activities. Near point 5, a large oil and gas field is located, and the twofold exceedance of the Maximum Permissible Concentration (MPC) for lead is linked to the flaring of associated petroleum gas. At points 6 and 7, the exceedance of MPC is related to hydrocarbon

transportation. Atyrau city, with a population of more than 300,000, represents an urbanized area where, according to [4], each household owns at least one vehicle. Sampling site 7 is located directly in a channel used for waterborne transport, and the exceedance of lead concentrations is directly attributed to these vessels.

Additionally, at points 1, 2, 4, and 5, exceedances of the MPC (1.0 mg/dm³) for iron (Fe) were recorded (Figure 2).

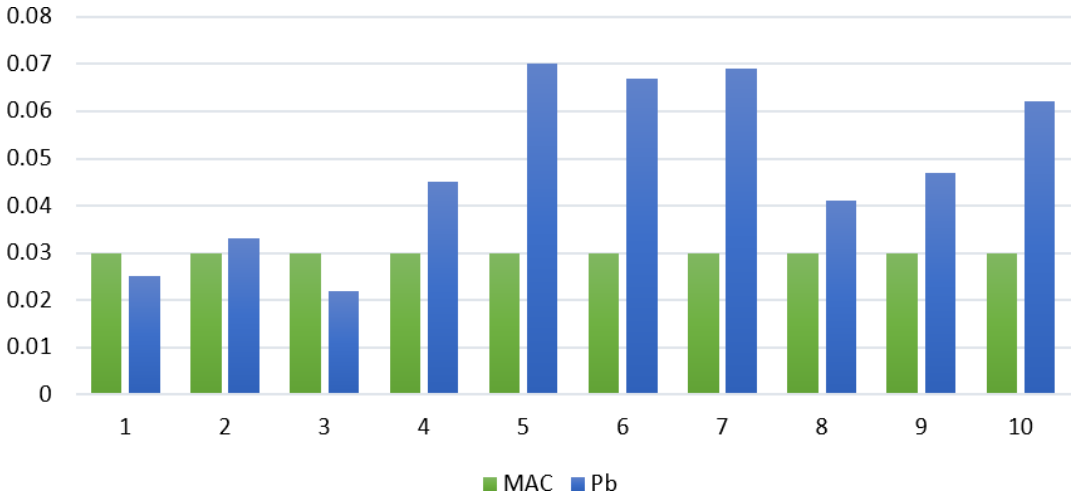


Fig.1 - Lead (Pb) concentrations by sampling points

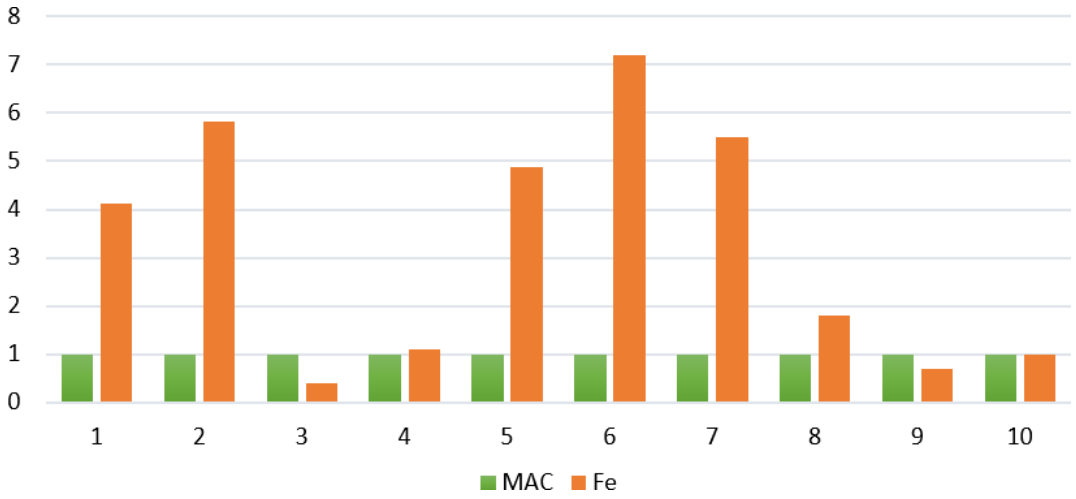


Fig.2 - Iron (Fe) concentrations by sampling points

Wastewaters associated with metallurgical, metal-processing, and paint-and-varnish industries contribute to the observed concentrations. The levels of iron in rivers and lakes depend on the chemical composition of the solution, pH, and to some extent on temperature. The content of suspended forms of iron compounds exceeds 0.45 μg, and these particles primarily consist of mixtures of iron compounds, hydrated iron oxides, and other iron-bearing minerals.

Smaller particles, i.e., colloidal forms of iron, are considered together with dissolved iron compounds. In dissolved form, iron occurs as ions and hydroxo-complexes. In rivers and lakes, the concentration of iron fluctuates at the level of n*0.1 mg/L, but it may rise to several mg/L near marshlands. Iron is an

essential micronutrient linked to various biological processes. It stimulates the intensive development of phytoplankton and influences the quality of microflora in aquatic ecosystems. However, water containing high levels of iron (>1-2 mg/L) is characterized by an unpleasant astringent taste and is unsuitable for industrial purposes. The MPC for iron in water bodies is 0.3 mg/L, while in fishery ponds the fishery-specific MPC is 0.1 mg/L.

In water samples from sites 1 and 2, the exceedance of iron concentrations is associated with “inputs” carried by upstream flows and may be linked to the main industrial activities in the region, such as the production of metal structures and technological equipment (Caspian Contractors Trust Atyrau) in connection with the chemical plant in the southern industrial zone 2 settlement. In addition, a concrete plant is located in this area. Wastewaters from these enterprises may discharge into the Ural River and the Baksy Canal channel [5].

At site 5, the exceedance of the MPC for iron is associated with the location of Kaiman LLP in the village of Akkystau.

In water samples from site 6, an eightfold exceedance of the MPC for iron was recorded, which is linked to the presence of large industrial enterprises in Atyrau city, such as BVB-Alliance Atyrau LLP (Zharbosynov 89) and Rauan Nalco LLP (North Industrial Zone 14). The main activities of these enterprises include ferrous and non-ferrous metallurgy, rolled metal production, and the manufacture of chemical reagents for the oil and gas industry.

At sampling points 5, 6, and 7, exceedances of the MPC for aluminum (Al) (0.5 mg/dm³) were also observed. For other elements, no MPC exceedances were recorded (Figure 3).

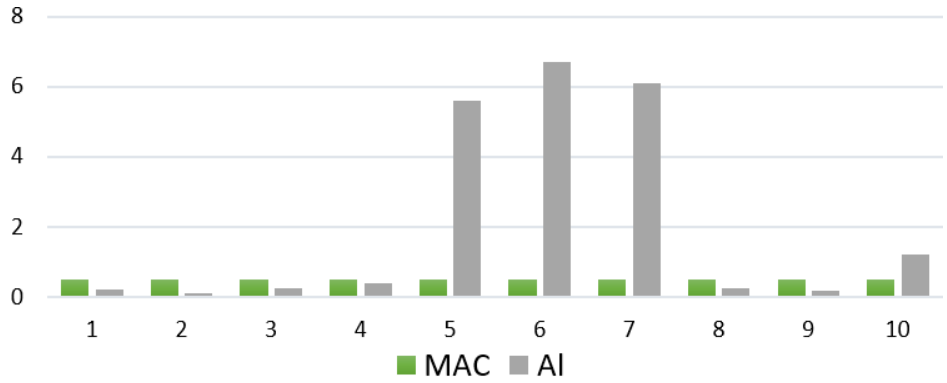


Fig.3 - Aluminum (Al) concentrations by sampling points

Aluminum enters natural waters through natural processes such as the partial dissolution of aluminosilicates and clays, as well as through anthropogenic pathways, including discharges from various industries (aviation, electrical, oil refining, chemical industry, construction, engineering, optics, nuclear and rocket technologies), municipal wastewater, and atmospheric precipitation [6].

Elevated aluminum levels recorded at sampling points 5, 6, and 7 are associated with industrial enterprises, hydrocarbon extraction in settlements (Akkystau village, Atyrau city), and the discharge of sewage into the river system. Aluminum concentrations in water sources typically range between 2.5 and 121 µg/dm³. In surface waters, aluminum levels may vary from a few µg/dm³ to several hundred µg/dm³, depending largely on the degree of soil acidification. According to the analysis results, no cadmium (Cd) pollution was detected in the main sampling sites. The overall concentrations did not exceed the MPC (0.001 mg/L).

Total hydrocarbons.

During spring investigations, the concentrations of petroleum products in water samples ranged from 0.009 to 0.0920 mg/dm³, with an average value of

0.0754 mg/dm³ across all points. No exceedances of the MPC (0.1 mg/dm³ [7]) were observed. The distribution of petroleum hydrocarbons by sampling points is shown in Figure 4.

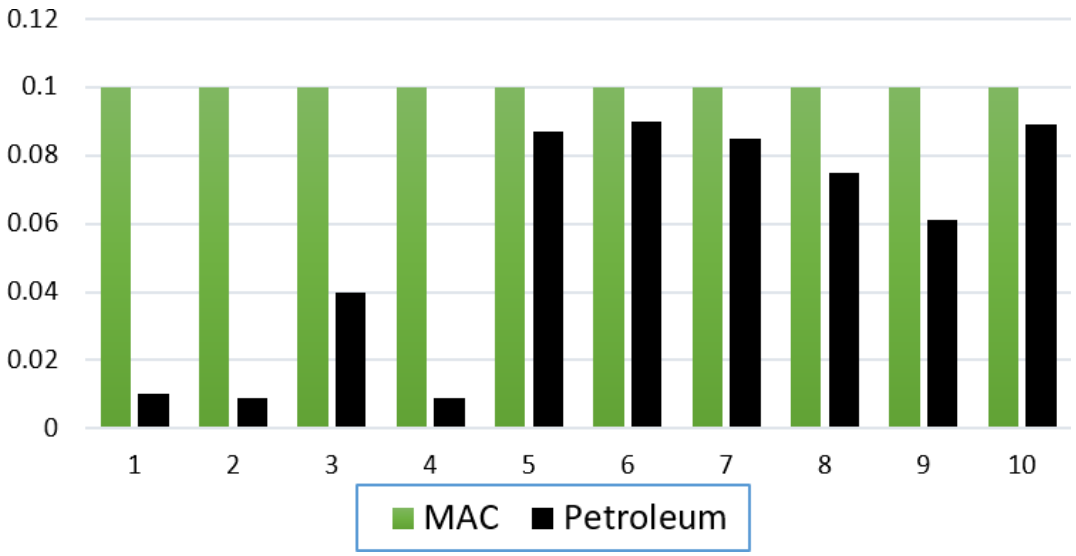


Fig.4 - Petroleum hydrocarbons at sampling points

During field expeditions, phenols were detected at concentrations ranging from below the detection limit (0.0001 mg/dm³) to 0.044811 mg/dm³. Exceedances of the MPC (0.001 mg/dm³) were registered at points 5, 6, 7, and 10. The presence of phenols at different stations is given in Appendix A.

Phenol is a toxic substance with strong irritant and caustic effects. Its maximum permissible concentration in drinking and domestic waters is 0.001 mg/L, and it is classified as a class IV hazardous substance. Phenol pollution in samples from key sites (5, 6, 7, and 10) is associated with industrial discharges from petrochemical and chemical enterprises. Once introduced into water bodies, phenol forms a fluorescent film on the surface, disrupting natural biological processes and ecosystem balance. The presence of phenol sharply slows down biological purification processes. When concentrations exceed 0.001 mg/L, water acquires an unpleasant taste and odor; at 0.01-0.1 mg/L, fish meat develops an undesirable taste and smell; and at higher concentrations, fish become unsuitable for consumption [8].

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs).

In water samples, PAH concentrations ranged from 0.00823 to 0.4090 mg/dm³. Relatively high levels were observed for naphthalene (0.0-0.0582 mg/dm³). Acenaphthylene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, and benzo(a)anthracene varied between 0.0 and 0.3193 mg/dm³ across sampling sites. Other analyzed PAHs were found at 0.0 mg/dm³.

Among other chemical elements, boron and fluoride were identified as persistent pollutants of the Ural River. Boron enters the river from upstream areas via the Orenburg and Elek rivers (Alga Chemical Plant) and partially from the Inder district. Fluoride was frequently recorded at concentrations exceeding MPC in the lower reaches of the Ural. Its origin remains uncertain, but it may be linked to the river's geochemical characteristics. Considering the high dispersal ability of fluoride, its source may be located even a thousand kilometers away from the river delta [9].

Hydrochemical structure of the delta (2022-2024).

As a result of field studies conducted between 2022 and 2024, the hydrochemical structure of the delta during different seasons (spring-summer-

autumn) was investigated. A monitoring scheme for key sites was developed. It was established that the waters of the Ural River delta belong to the sodium group (Type II), chloride class; by the degree of mineralization, they are classified as fresh (Ural and its branches) and saline (marine-adjacent). The mineralization of the eastern marine delta (4-4.9) is considerably higher than that of the western delta (2–3.5) [10].

In comparative terms, literature data confirm the relatively high general mineralization of the marine part of the delta and the seasonal variability of the qualitative composition of inflowing river and coastal waters. The study also revealed the composition of biogenic elements, described as the continuation of mineral nitrogen compounds, showing clear seasonal variability.

The Ural River, its branches, floodplain channels, marine delta, Shalyga Islands, and floodplain zones of both banks were examined. In total, 52 water samples were collected from 10 key sites during 2022-2024. Heavily polluted sites included areas affected by flooding and wind-driven phenomena, as well as stagnant river arms - such as Peshnov Bay, Kap-Özek, and stagnant left-bank floodplain channels [11].

These shallow areas warmed rapidly - the average air temperature was 27°C, while water temperature reached 26°C. Laboratory analyses of geo-hydrochemical data indicated that waters of the Ural River delta were polluted with petroleum products, phenols, iron, and showed pH levels exceeding MPC values by more than tenfold.

This pollution can be considered partially natural, as dissolved and undissolved pollutants (plant residues, eroded bank materials, waste, soil leachates, etc.) are carried into water bodies during spring floods. In some areas of the delta with weak currents, stagnant water and shallow depth contribute to chemical reactions in vegetation. As a result, increased COD levels above MPC were recorded in both eastern and western parts of the delta. During summer, algae and aquatic plants proliferated, leading to water discoloration. At this time, physical and chemical water properties sharply deteriorated, and stagnant water phenomena were observed [12].

Conclusion. Analysis of the research results indicates that the waters of the Ural River, its delta, and the Caspian Sea can be classified as moderately polluted, belonging to pollution class III, with the Water Pollution Index (WPI) ranging from 1 to 2. However, heavily polluted areas such as Peshnov Bay, Kap-Özek, and stagnant left-bank channels fall under pollution classes IV-V, with WPI values between 2 and 6.

The data obtained provide a baseline for assessing the ecological state of the ecosystem, the transport of pollutants into the Caspian Sea via river discharge, and the impact of oil production, processing, and transportation on regional pollution. These results should serve as a foundation for establishing a monitoring system in the marine area and the Ural River delta.

Moreover, the findings allow an assessment of the current hydrochemical regime and water quality of the Ural River in the context of rural drinking water supply. The study demonstrated that, overall, river water may be suitable for drinking purposes; however, in some areas (particularly the estuarine and stagnant branches), exceedances of regulatory limits were recorded. This highlights the need for additional treatment, filtration, and sanitary control measures to ensure safe drinking water for rural settlements.

In general, the research results provide an important scientific and practical basis for developing comprehensive measures aimed at the ecological protection of regional water resources and the supply of high-quality drinking water to rural populations.

Funding. *This research was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under scientific project AR13068528, conducted at H. Dosmukhamedov Atyrau University. The authors express their gratitude for the support provided.*

Литература

1. Amirgaliyev N., Askarova M., Opp Ch., Medeu A. and al. Water Quality Problems Analysis and Assessment of the Ecological Security Level of the Transboundary Ural-Caspian Basin of the Republic of Kazakhstan//Applied Sciences *(MDPI)*.-2022.-Vol. 12(4):2059 DOI 10.3390/app12042059.

2. Kabiyev Y. S., Berdenov Z. G., Dzhanaleeva K. M., Atasoy E., Wendt J. A. Landscape ecological analysis of the modern delta of the Ural (Zhayik) River// GeoJournal of Tourism and Geosites.- 2018.-Vol.23(3).- P.644-655. DOI 10.30892/gtg.23302-316.

3. Demin A. Water Consumption and Disposal in the Russian Part of the Transboundary Ural River: Trends and the Effect on Water Quality//Water Resources.-2024.-Vol.51(5).-P.537–549. DOI 10.1134/S0097807824700957.

4. Atamanova O. V., Tikhomirova E. I., Burahta V. A., Baytlesova L. I., Dzhubayalieva A. K. Hydrochemical Monitoring of Water Quality in Natural Water Bodies of the Ural River Basin//Biology Bulletin.-2023.-Vol. 49. -P.1821-1826. DOI 10.1134/S106235902210003X.

5. Severinenko M., Solodukhi, V., Lennik, S., Kabirova G., Zhelto, D., & Bychenko, A. Water Elemental Composition and Toxicity in Kazakhstan’s Transboundary Rivers//Central Asian Journal of Water Research.-2023.-Vol.9(1).-P.19-32.DOI 10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-1/19-32.eng.

6. Makkaveev P.N., Gordeev V.V., Zavialov P.O., Kurbaniyazov A. K. Hydrochemical and Hydrological Conditions in the Ural River Lower Reaches and in the Caspian Sea Mouth Region at the Beginning of the Spring Flood//Russian Meteorology and Hydrology.-2018.-Vol.43(10).- P. 706 - 712. DOI 10.3103/S1068373918100102.

7. Тулемисова Г.Б., Абдинов Р.Ш., Кабдрахимова Г.Ж., Жанетов Т.Б. Экологическое состояние реки Урал//Chtmical Bulletin.-2017- N.85(2).- С.18-24.DOI 10.15328/cb808.

8. Кабиев Е.С. Динамика гидрографической сети дельты реки Урал//ВЕСТНИК ЕНУ имени Л.Н. Гумилева. Серия Химия. География. Экология.- 2021- № 4 (137).- С.74-82. DOI 10.32523/2616-6771-2021-137-4-74-82.

9. Yessenbayeva K., Turdiyeva K., Ramazanova E., Lee W. Water Chemistry, Source Identification, and Health Risk Assessment in Surface Water of the Ural River.//ACS ES&T Water.-2024.- Vol.4(4).- P.1620-1628. DOI 10.1021/acsestwater.3c00682.

10. Anchita A., Zhupankhan A., Khaibullina Z., Kabiyev, Y., Persson, K. M., Berndtsson, R. Health impact of drying Aral Sea: One health and socio-economical approach//Water.-2021.-Vol.13(22): 3196. DOI 10.3390/w13223196.

11. Bolatova Z., Sharapatova R., Kabiyev Y., Berndtsson R., Tussupova K. Towards Sustainable Solutions: Assessing Rural Access to Safe Drinking Water and Sanitation in Atyrau, Kazakhstan// Water.-2025.Vol.17(5):664. DOI 10.3390/w17050664.

12. Bolatova Z., Sharapatova R., Kanagat K., Kabiyev Y., Berndtsson R., Tussupova K. Household Satisfaction and Drinking Water Quality in Rural Areas: A Comparison with Official Access Data// Sustainability.- 2025.- Vol.17(15):7107. DOI 10.3390/su17157107.

References

1. Amirgaliyev N., Askarova M., Opp Ch., Medeu A. and al. Water Quality Problems Analysis and Assessment of the Ecological Security Level of the Transboundary Ural-Caspian Basin of the Republic of Kazakhstan//Applied Sciences *(MDPI)*.-2022.-Vol. 12(4):2059 DOI 10.3390/app12042059.

2. Kabiyev Y. S., Berdenov Z. G., Dzhanaleeva K. M., Atasoy E., Wendt J. A. Landscape ecological analysis of the modern delta of the Ural (Zhayik) River// GeoJournal of Tourism and Geosites.- 2018.-

Vol.23(3).- P.644-655. DOI 10.30892/gtg.23302-316.

3. Demin A. Water Consumption and Disposal in the Russian Part of the Transboundary Ural River: Trends and the Effect on Water Quality//Water Resources.-2024.-Vol.51(5).-P.537–549. DOI 10.1134/S0097807824700957.

4. Atamanova O. V., Tikhomirova E. I., Burahta V. A., Baytlesova L. I., Dzhubayalieva A. K. Hydrochemical Monitoring of Water Quality in Natural Water Bodies of the Ural River Basin//Biology Bulletin.-2023.-Vol. 49. -P.1821-1826. DOI 10.1134/S106235902210003X.

5. Severinenko M., Solodukhi, V., Lennik, S., Kabirova G., Zhelto, D., & Bychenko, A. Water Elemental Composition and Toxicity in Kazakhstan's Transboundary Rivers//Central Asian Journal of Water Research.-2023.-Vol.9(1).-P.19-32.DOI 10.29258/CAJWR/2023-R1.v9-1/19-32.eng.

6. Makkaveev P.N., Gordeev V.V., Zavialov P.O., Kurbaniyazov A. K. Hydrochemical and Hydrological Conditions in the Ural River Lower Reaches and in the Caspian Sea Mouth Region at the Beginning of the Spring Flood//Russian Meteorology and Hydrology.-2018.-Vol.43(10).- P. 706 - 712. DOI 10.3103/S1068373918100102.

7. Tulemisova G.B., Abdinov R.Sh., Kabdrahimova G.Zh., Zhanetov T.B. Jekologicheskoe sostojanie reki Ural//Chtmical Bulletin.-2017- N.85(2).- C.18-24.DOI 10.15328/cb808. [in Russian]

8. Kabiev E.S. Dinamika gidrograficheskoj seti del' ty reki Ural//VESTNIK ENU imeni L.N. Gumileva. Serija Himija. Geografija. Jekologija.- 2021- № 4 (137).- S.74-82.DOI 10.32523/2616-6771-2021-137-4-74-82. [in Russian]

9. Yessenbayeva K., Turdiyeva K., Ramazanova E., Lee W. Water Chemistry, Source Identification, and Health Risk Assessment in Surface Water of the Ural River.//ACS ES&T Water.-2024.- Vol.4(4).- P.1620-1628. DOI 10.1021/acsestwater.3c00682.

10. Anchita A., Zhupankhan A., Khaibullina Z., Kabiyev, Y., Persson, K. M., Berndtsson, R. Health impact of drying Aral Sea: One health and socio-economical approach//Water.-2021.-Vol.13(22): 3196. DOI 10.3390/w13223196.

11. Bolatova Z., Sharapatova R., Kabiyev Y., Berndtsson R., Tussupova K. Towards Sustainable Solutions: Assessing Rural Access to Safe Drinking Water and Sanitation in Atyrau, Kazakhstan// Water.-2025.Vol.17(5):664. DOI 10.3390/w17050664.

12. Bolatova Z., Sharapatova R., Kanagat K., Kabiyev Y., Berndtsson R., Tussupova K. Household Satisfaction and Drinking Water Quality in Rural Areas: A Comparison with Official Access Data// Sustainability.- 2025.- Vol.17(15):7107. DOI 10.3390/su17157107.

Information about authors

Kabiyev Ye. - Associate Professor, H. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: yerlanustaz@gmail.com;

Ronny Berndtsson - Professor, Division of Water Resources Engineering, Lund University, Sweden, e-mail: ronny.berndtsson@tvrl.lth.se;

Tussupova K. - Professor, Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan, e-mail: kamshat.tussupova@gmail.com.

Сведения об авторе

Кабиев Е.- доцент, Атырауский университет им. Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан, e-mail: yerlanustaz@gmail.com;

Ронни Берндтссон - профессор, Отделение инженерии водных ресурсов, Лундский университет, Лунд, Швеция; e-mail: ronny.berndtsson@tvrl.lth.se;

Тусупов К. - профессор, Казахский национальный университет водного хозяйства и ирригации, Тараз, Казахстан; e-mail: kamshat.tussupova@gmail.com.

ҒТАМР 65.59.91 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-945**

ҚОЙДЫҢ ҚАРЫНЫНДАҒЫ МАССАНЫҢ (КАНЫГА) КЕПТІРУДЕН КЕЙІНГІ ФИЗИКО-ХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Г.С Кененбай, У.Ч. Чоманов, М.А. Идаятова

«Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Алматы, Қазақстан
Корреспондент-автор: idayatova_m@mail.ru

Көптеген дамушы елдерде жыл сайын едәуір көлемде жануарлардан алынатын жанама өнімдер пайда болады. Бұл өнімдер қайта өңдеуге жарамды, дегенмен, техникалық білімнің жеткіліксіздігінен олар жойылады немесе толық пайдаланылмайды. Осындай жанама өнімдердің бірі - қойдың қарынындағы масса (каныга). Қазіргі таңда осы шикізатты қайта өңдеу мақсатында оның сапалық көрсеткіштерін зерттеу маңызды болып отыр.

Зерттеу нысаны: қойдың қарынындағы масса (каныга). Зерттеу жүргізуде белгіленген мемлекеттік стандарттар қолданылды. Зерттеудің мақсаты - қойдың қарынындағы массаның (каныга) физика-химиялық көрсеткіштеріне, дәрумендер мен минералды заттар құрамына зерттеу жүргізу. Осы мақсатта бастапқы ылғалдылық, гигроскопиялық ылғалдық, жалпы ылғалдылық, құрғақ заттар мөлшері, күлділік, қант, азотсыз экстрактивті заттар, талшық, май, ақуыз мөлшері мен дәрумендер, минералды заттар мөлшері зерттелінді.

Зерттеу нәтижесінде бастапқы ылғалдылық - 5,63%, гигроскопиялық ылғалдылық – 2,31%, жалпы ылғалдылық – 7,81%, құрғақ заттар мөлшері - 92,19% көрсетті. Ақуыз мөлшері - 9,19 %, күлділік – 9,19%, азотсыз экстрактивті заттар - 33,67%, талшық - 37,75% көрсетті. Қой қарынындағы масса Е дәруменіне бай (212,0 мг) және В1 (0,01мг/100г), В2 (0,13 мг/100г), В3 (0,057 мг/100г), В5 (0,044мг/100г), В6 (0,009мг/100г) дәрумендері анықталды. Зерттеу қорытындысына сәйкес, қойдың қарынындағы массаның физика-химиялық көрсеткіштеріне талдау жасалынды.

Зерттеу нәтижесінде қойдың қарынындағы масса көптеген минералды заттар мен дәрумендерге бай, қайта өңдеуге жарамды шикізат екенін көрсетті.

Түйін сөздер: қойдың қарынындағы масса (каныга), физико-химиялық талдау, қайта өңдеу, ылғалдылық, минералды заттар, дәрумендер.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАНЫГИ ОВЕЦ ПОСЛЕ СУШКИ

Г.С. Кененбай, У.Ч. Чоманов, М.А. Идаятова

ТОО ” Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» Алматы, Казахстан,
e-mail: idayatova_m@mail.ru

Во многих развивающихся странах ежегодно появляется значительное количество побочных продуктов животного происхождения. Эти продукты пригодны для вторичной переработки, однако из-за недостатка технических знаний они либо утилизируются, либо не используются в полной мере. Одним из таких побочных продуктов является каныга. В настоящее время в целях переработки данного сырья важно изучить его качественные показатели.

Объект исследования - каныга овец. При проведении исследования использовались установленные государственные стандарты. Цель исследования – проведение исследований физико-химических показателей, содержания витаминов и минеральных веществ в каныге овец. Для этого были изучены первоначальная влажность, гигроскопическая влажность, общая влажность, содержание сухих веществ, зольность, сахар, безазотные экстрактивные вещества, клетчатка, жир, содержание белка и витаминов, минеральных веществ.

Исследование показало, что первоначальная влажность составила 5,63%, гигроскопическая влажность - 2,31%, общая влажность - 7,81%, содержание сухого вещества - 92,19%. Содержание белка

- 9,19%, золы - 9,19%, безазотных экстрактивных веществ -33,67%, клетчатки - 37,75%. Каныга овцы богата витамином Е (212,0 мг) и витаминами B_1 (0,01 мг/100 г), B_2 (0,13 мг/100 г), B_3 (0,057 мг/100 г), B_5 (0,044 мг/100 г), B_6 (0,009 мг/100 г). В соответствии с заключением исследования был проведён анализ физико-химических показателей каныги овец.

Исследование показало, что каныга - это перерабатываемое сырье, богатое многими минералами и витаминами.

Ключевые слова: каныга овец, физико-химический анализ, переработка, влажность, минеральные вещества, витамины.

STUDY OF PHYSICAL-CHEMICAL PARAMETERS OF SHEEP RUMEN CONTENT AFTER DRYING

G.S., Kenenbay, U.Ch. Chomanov, M.A Idayatova✉

Kazakh Scientific Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan, e-mail: idayatova_m@mail.ru

A significant number of animal by-products are produced annually in many developing countries. These products are recyclable, but due to a lack of technical knowledge, they are either disposed of or not fully utilized. One of these by-products is sheep rumen content. Currently, in order to process this raw material, it is important to study its quality indicators.

Object of research: sheep rumen content. State standards were used during the research. The aim of the study was to investigate the physical-chemical parameters, vitamin, and mineral content in sheep rumen content. To this end, the initial moisture, hygroscopic moisture, total moisture, dry matter content, ash content, sugar, nitrogen-free extractive substances, fiber, fat, protein content, vitamins, and minerals were studied.

The study showed that the initial moisture content was 5.63%, hygroscopic moisture was 2.31%, total moisture was 7.81%, and the dry matter content was 92.19%. The protein content was 9.19%, ash content was 9.19%, nitrogen-free extractive substances were 33.67%, and fiber content was 37.75%. Sheep rumen content is rich in vitamin E (212.0 mg) and vitamins B_1 (0.01 mg/100 g), B_2 (0.13 mg/100 g), B_3 (0.057 mg/100 g), B_5 (0.044 mg/100 g), and B_6 (0.009 mg/100 g). According to the study conclusion, an analysis of the physical-chemical parameters of sheep rumen content.

The study showed that canyga is rich in many minerals and vitamins, and showed that it is a recyclable raw material.

Keywords: sheep rumen content, physical-chemical analysis, processing, moisture, mineral substances, vitamins.

Кіріспе. Қой шаруашылығы - Қазақстанның ежелден жалғасып келе жатырған мал шаруашылығының дәстүрлі саласы. Мемлекет дамуының барлық кезеңдерінде қой шаруашылығы ет өндірісін ұлғайтудың басым бағыттарының бірі, халқымыздың әлеуметтік-тұрмыстық жағдайын жақсартумен қатар, азық-түлік нарығын қолжетімді және сапалы ет өнімдерімен қамтамасыз етудің маңызы көзі болып келе жатыр [1].

Қой еті өзінің ерекше диеталық, тағамдық құндылығымен және органолептикалық қасиеттерімен ерекше, сондай-ақ минералдар мен дәрумендердің бай көзі болуымен жоғары бағаланады. Әлемде қой етін тұтыну шошқа, құс, сиыр етінен кейін төртінші орынды алады [2,3].

Соңғы 20 жылда тек елімізде емес, дүние жүзінде де (соның ішінде Африка, Азия, Еуропа, Америка Құрама Штаттары) ет пен ет өнімдеріне сұраныстың артуы байқалды, бұл өмір сапасының жоғарылауына байланысты. Осы орайда, көп мөлшерде жанама өнімдер артылып қалуы байқалады (союдан кейінгі жануар массасы-

ның шамамен 2/3 бөлігі жанама өнімдерге тиесілі) және оларды жинау және өңдеу көбірек көңіл бөлуді талап етеді [4,5,6].

Дүние жүзіндегі сою өнімдері екі үлкен топқа бөлінеді: edible (жеуге жарамды, тағамдық) және non-edible (жеуге жарамсыз, тағамдық емес). Союдың жеуге жарамды өнімдері (бауыр, бүйрек, тіл, жүрек және т.б.), жеуге жарамсыз (мүйіздер, тұяқтар және қарындағы масса т. б.) жатады [7].

Жеуге жарамсыз жанама өнімдерді пайдаланудан бас тарту пайда алып келетін кірістің жоғалуына, сондай-ақ оларды жою үшін шығатын шығындарының артуына әкеледі. Жеуге жарамсыз және қолданылу мүмкіндігі әлі күнге дейін толық ашылмаған шикізаттың бірі – осы қарындағы масса (каныга). Және қойдың қарынындағы массаның елімізде пайдаланылмай, жойылуы мал сою және қайта өңдеу кезінде қоршаған ортаны ластанудан қорғауды қамтамасыз ететін тиімді өндірістік әдісті және жоғары экономикалық тиімділікті қамтамасыз ететін қайталама шикізатты толық қайта өңдеуді көздейтін ресурс үнемдеуші технологияларды кеңінен енгізуді қажет етеді [8].

Осы себепті оның пайдаланылу мүмкіндігін зерттеу мақсатында физика-химиялық көрсеткіштеріне талдау жасау маңыздылығы туындап отыр.

Қойлардың қарынындағы масса – бұл негізгі азықтың (шөп, жем, концентраттар) және ас қорыту жүйесіндегі микроорганизмдердің ферментациясы нәтижесінде пайда болған заттардың қоспасы. Қойлардың қарынындағы масса көлемі жағынан ірі қара малдың асқазанынан әлдеқайда кіші екенін атап өткен жөн. Ірі қара малдың асқазанының ішіндегі заттар жануардың салмағының орта есеппен 20%-ын құрайды, ал қойларда бұл көрсеткіш 10%-ға тең. Осылайша, қойлардың асқазанының салыстырмалы сыйымдылығы ірі қара малмен салыстырғанда екі есе аз.

Қарында бар қолайлы жағдайлар онда микрофлораның көп мөлшерде дамуына ықпал етеді. Бұған тұрақты және қолайлы температура, қарынның ішіндегі құрамның бейтарапқа жақын реакциясы, қоректік заттардың мол болуы және тұрақты түрде келуі жатады. Қарын микрофлорасын құрайтын микроорганизмдер ферментативті белсенділігінің әртүрлілігімен ерекшеленеді. Қарында азықтың заттарын микробты ыдырату процестерімен қатар, белсенді синтез процестері де жүреді [9].

Қойдың қарынындағы массаның физико-химиялық сипаттамалары оның денсаулығы үшін және оны өңдеудің тиімділігін арттыруда өте маңызды. Қарындағы массаны кептіру үдерісіндегі ылғалдылық көрсеткіштері, құрғақ заттардың мөлшері мен басқа да қасиеттері өнімнің сапасына тікелей әсер етеді. Оларды зерттеу арқылы, өнімнің қоректік құндылығы мен пайдалану қасиеттерін жақсарту үшін арнайы өңдеу технологияларын әзірлеуге болады.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысаны: қойдың қарынындағы масса. Материалды жинау Алматы облысында жүргізілді.

Ылғалдылықты анықтау МемСТ 13496.3 - 92 сүйене отырып жүргізілді. Ылғалдылықты анықтау үшін ШС-80-01 СПУ (Ресей) кептіру-зарарсыздандыру түріндегі шкаф пайдаланылды.

Бастапқы ылғалдылық -65-70^0 С- кептірілген қойдың қарынындағы массаны тұрақты массаға дейін кептіру арқылы анықталды.

Гигроскопиялық ылғалдылық - 2 гр шикізатты 100-105^{0}С тұрақты массаға дейін кептіру арқылы анықталды.

Күлділікті анықтау МемСТ 13979.6-69 сүйене отырып жүргізілді. Ол үшін жоғары температурада күл алуға арналған SNOL (Литва) муфельді электр пеші пайдаланылды. Күлділікті анықтау әдісі үлгіні 650-700^{0}С тұрақты массаға дейін күлдендіру арқылы жүзеге асырылады.

Сынаманы ұнтақтау үшін ылғалдылығы 18,0% - дан аспайтын дәнді, дәнді-бұршақты дақылдар мен басқа да жемшөп өсімдіктерінің сынамаларын ұнтақтауға арналған ЛМЗ (Ресей) электронды астық диірмені пайдаланылды.

Сынамаларды өлшеу үшін сынамалар мен үлгілерді, химиялық реагенттерді және әртүрлі ма-

териалдарды өлшеуге арналған ”Shimadzu” (Жапония) зертханалық электронды таразы қолданылды.

Шикі талшықты, майды, ақуыз, қант және крахмал анықтау үшін жем анализаторы ”NIR DS 2500” (Швеция) пайдаланылды. ” NIR DS 2500” 850-ден 2500 нанометрге дейінгі толқын ұзындығының мамандандырылған диапазонында айрықша дәлдікпен жемшөп пен жемшөп үлгілерін тікелей талдау, ұнтақталған немесе ұнтақтамай, сондай-ақ түйіршіктелген үлгілерге ИҚ-талдау жүргізуді қамтамасыз етеді.

Дәрумендер МемСТ 31483-2012 сүйете отырып, хромотографиялық әдіс арқылы анықталды.

Минералды заттарды анықтау МемСТ 32343-2013 сүйене отырып, атомдық абсорбциялық спектрометрия әдісімен кальций, мыс, темір, магний, марганец, калий, натрий және мырыш құрамын анықтау негізінде жүргізілді.

Нәтижелер және талқылау. Зерттеу жүргізу үшін қойдың қарынындағы масса 40°С температурада кептіру шкафында ылғалдылық мөлшері 7,81% көлемінде кептіріліп алынды (1 сурет).



кептіруге дейін ***кептіргеннен кейін***

1 - сурет. Қойдың қарынындағы масса

Алынған массаның ылғалдылығы және құрғақ заттар мөлшері анықталды (2 сурет).

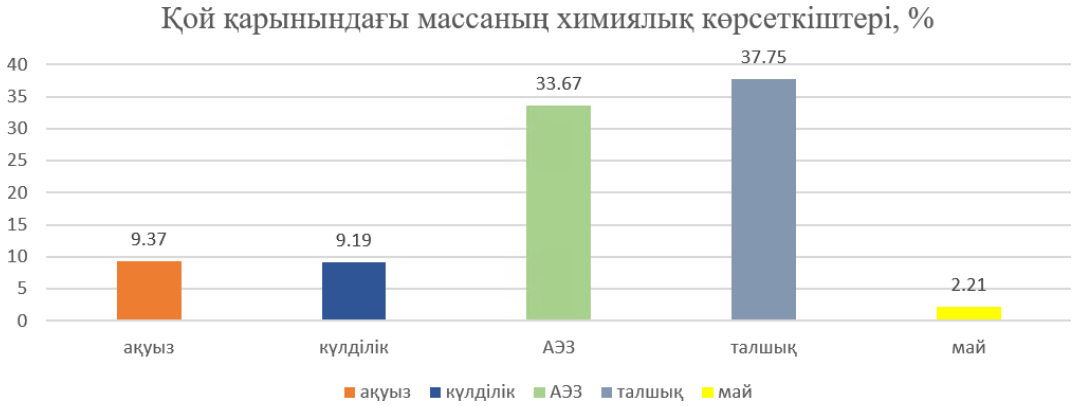


2 - сурет. Қойдың қарынындағы массаның ылғалдылығы мен құрғақ заттар мөлшері, %

**БЫ - бастапқы ылғалдылық, ГЫ - гигроскопиялық ылғалдылық, ЖЫ жалпы ылғалдылық, ҚЗ - құрғақ заттар мөлшері*

Қарынындағы физико-химиялық қасиеттерді дұрыс бағалау және оларды ескере отырып өңдеу үдерісін дұрыс ұйымдастыру, өндіріс шығындарын азайтуға және өнімнің сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Бұл мал шаруашылығы өнімдерін нарықта тиімді сатуға және шығындарды оңтайландыруға септігін тигізеді.

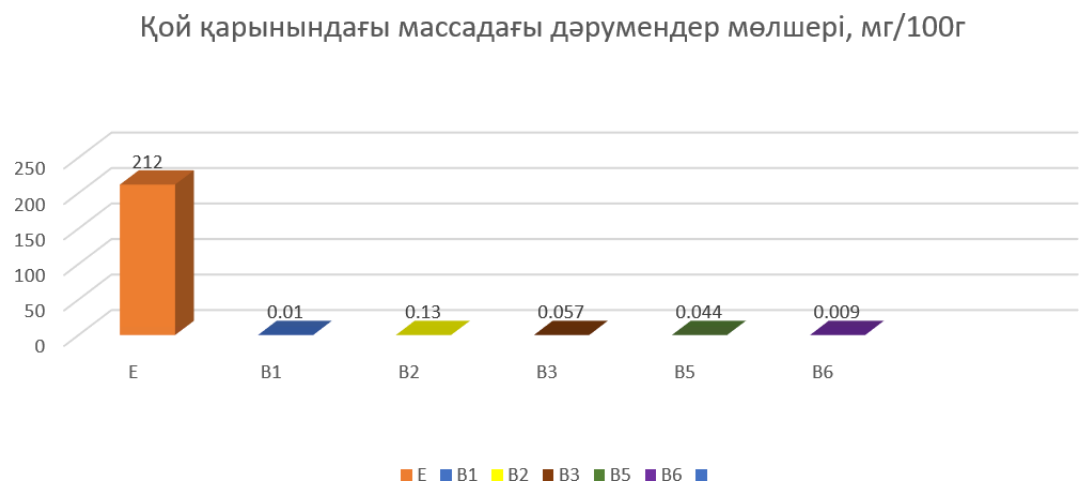
Зерттеу барысында қойдың қарнындағы массаны (каныга) кептіру үдерісінен кейінгі физико-химиялық көрсеткіштері талданды. Зерттеу барысында кептіруден кейінгі қой қарынындағы массаның 3 түрлі ылғалдылық мөлшері анықталды. Кептірілген өнімнің ылғалдылық көрсеткіштері және құрғақ заттар мөлшері 2- суретте көрсетілген. Бастапқы ылғалдылық - 5,63% көрсетті, бұл өнімнің табиғи күйінде бар ылғалдың мөлшерін білдіреді, Гигроскопиялық ылғалдылық - 2,31% болды, бұл өнімнің ауадағы ылғалды сіңіру қабілетін сипаттайтын көрсеткіш. Гигроскопиялық ылғалдылықты анықтау өнімнің ұзақ уақыт сақталуын бағалауда маңызды, өйткені жоғары гигроскопиялық ылғалдылық өнімнің ылғалдылығын тез жоғалтып, сапасының нашарлауына әкелуі мүмкін. Бұл көрсеткіш қойдың қарнындағы ылғалдылықтың басқа қоршаған орта факторларына (мысалы, температура мен ауа ылғалдылығына) қалай әсер ететінін анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері бойынша гигроскопиялық ылғалдылық өнімнің сыртқы ортадан ылғалды аз сіңіретінін көрсетеді. Жалпы ылғалдылық - өнімнің барлық құрамындағы ылғал мөлшерін анықтайды, жалпы ылғалдылық - 7,81% құрады. Өнімдегі барлық органикалық және бейорганикалық заттардың массасы құрғақ заттар мөлшерімен анықталады, кептіруден кейін қарындағы массада құрғақ заттар мөлшері - 92,19% көрсетті.



3 - сурет. Қой қарынындағы массаның химиялық көрсеткіштері

**АЭЗ - азотсыз экстрактивті заттар*

Және қой қарынындағы массада ақуыз, күлділік, АЭЗ, талшық пен май мөлшері анықталды (3-сурет). Ақуыз - қойлар рационындағы негізгі қоректік заттардың бірі, ол организмдегі көптеген процестерге әсер етеді. Қойдың қарынындағы массада ақуыз мөлшері - 9,19 % болды. Күлділік мөлшері - 9,19% көрсетті, ол мал азығындағы минералдар мен элементтердің жиынтығы болып табылады, және оның жеткілікті деңгейде болуы қойдың барлық физиологиялық процестерінің дұрыс жүруін қамтамасыз етеді. Қой қарынындағы массада көп мөлшерде АЭЗ мен күлділік анықталды. АЭЗ (азотсыз экстрактивті заттар) - жем-шөптің құрамындағы көмірсулардың сіңімді және энергияға бай бөлігін қамтиды, оның мөлшері - 33,67% болды. Қой қарынындағы массада ең көп мөлшерде - талшық анықталды, талшық асқазан-ішек жолдарының қалыпты жұмысын қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Ол асқазанның моторикасын жақсартып, ішектің дұрыс жұмыс істеуіне ықпал етеді. Оның мөлшері 37,75% құрады. Және 2,21% май мөлшері анықталды. Май қойдың ағзасындағы энергия мен жылудың маңызды көзі.

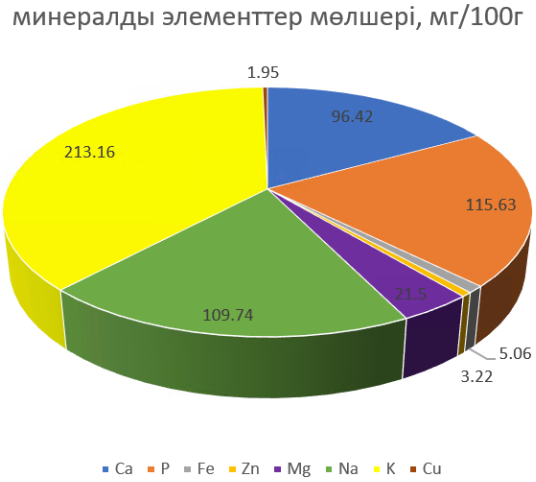


4 - сурет. Қойдың қарынындағы массадағы дәрумендер мөлшері

Қой қарынындағы массаның дәрумендер құрамына да зерттеу жүргізілді(4-сурет). Қой үшін дәрумендер олардың өсуі, өнімділігі, репродуктивті денсаулығы, иммунитеті және жалпы физиологиялық жағдайы үшін өте маңызды. Зерттеу барысында массада көп мөлшерде Е дәрумені (212,0 мг) және В1 (0,01мг/100г), В2 (0,13 мг/100г), В3 (0,057 мг/100г), В5 (0,044мг/100г), В6 (0,009мг/100г) дәрумендері анықталды.

Қой қарынындағы массадағы минералды элементтерді анықтау – зерттеудің өзекті бағыттарының бірі. Қалыпты метаболизм мен энергияны, ферменттердің, гормондардың түзілуін қамтамасыз ету үшін минералды заттар қойдың денесіне жеммен үнемі жеткізіліп отырады.

Ал, минералды заттар жағынан қой қарынындағы масса әр түрлі минералды элементтермен бай (5-сурет).



5 - сурет. Қой қарынындағы массадағы минералды заттар мөлшері

**Cu - мыс, K - калий, Na - натрий, Mg - магний, Zn - мырыш, Fe - темір, P - фосфор, Ca - кальций*

Қой қарынындағы массада ең көп мөлшердегі минералды элемент калий болды, оның мөлшері - 213,16 мг/100г құрады. Калий (К) жүйке және бұлшықет функциялары үшін маңызды, қарынының дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз етеді, ферментациялық процестерді реттейді. Екінші орында көп мөлшерде кездескен минералды элемент - фосфор - 115,63мг/100г., үшінші орын-

да - натрий (109,74 мг/100г). Фосфор (Р) сүйек пен тіс құрылымын қалыптастыруда маңызды, энергия алмасуына қатысады, ал натрий (Na) су-электролиттік балансын сақтау үшін қажет, организмдегі сұйықтықтың тепе-теңдігін қамтамасыз етеді. Одан кейінгі орында - кальций - 96,42 мг/100г және магний - 21,5мг/100 г. Кальций (Са) сүйектердің беріктігін арттырады, бұлшықет жиырылуына ықпал етеді және қарынының дұрыс жұмыс істеуіне әсер етеді. Магний (Mg) сүйек жүйесін нығайтуға, ферменттердің қызметін реттеуге және энергетикалық алмасуды қолдауға ықпал етеді. Және аз мөлшерде темір - 5,06мг/100г; мырыш - 3,22 мг/100г; мыс - 1,95 гм/100г. кездесті. Темір (Fe) гемоглобиннің құрамына кіріп, оттегіні тасымалдауға қатысады, қан айналымын жақсартады. Мырыш (Zn) ақуыз синтезін және өсу процестерін қолдайды, терінің және жүннің сапасына әсер етеді және ауруларға төзімділікті қалыптастырады. Мыс (Cu) көптеген ферменттердің маңызды құрамдас бөлігі, темірдің тасымалын және қоректік заттардың алмасуын қамтамасыз етеді, сондай-ақ жүйке, жабын, қаңқа, иммундық және ас қорыту жүйелері сияқты бірнеше мүшелер жүйесінің дұрыс дамуы мен сақталуы үшін өте маңызды [10].

Қорытынды. Қарын массасының физико-химиялық көрсеткіштерін зерттеу арқылы өндіріс қалдықтарын (сою алаңдарындағы қой қарынының массасы) тиімді қолдануға болады. Бұл қалдықтарды қайта өңдеу мақсатында зерттеу жүргізу қоршаған ортаға жүктемені азайтады.

Зерттеу жүргізуде белгіленген мемлекеттік стандарттар қолданылып, бастапқы ылғалдылық, гигроскопиялық ылғалдық, жалпы ылғалдылық, құрғақ заттар мөлшері, күлділік, қант, азотсыз экстрактивті заттар, талшық, май, ақуыз мөлшері мен дәрумендер, минералды заттар мөлшері зерттелінді.

Зерттеу нәтижесінде бастапқы ылғалдылық - 5,63%, гигроскопиялық ылғалдылық - 2,31%, жалпы ылғалдылық - 7,81%, құрғақ заттар мөлшері - 92,19% көрсетті. Қой қарынындағы масса Е дәрумені (212,0 мг) және В1, В2, В3, В5, В6 дәрумендері, минералды заттар мөлшері бойынша калий 213,16 мг/100г, фосфор - 115,63мг/100г, натрий 109,74 мг/100г, кальций - 96,42 мг/100г және магний - 21,5мг/100г, темір - 5,06мг/100г; мырыш - 3,22 мг/100г; мыс - 1,95 гм/100г анықталды.

Зерттеу көрсеткендей, қойдың қарынындағы минералды және органикалық құрамының жоғары болуы оның қоректік және экономикалық құндылығын арттырады. Оны қайта өңдеу ауыл шаруашылығы саласында жаңа өнімдер алу мүмкіндігін көрсетеді.

Қаржыландыру. Материалдар Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігінің BR24892775 ”Шығарылатын өнімнің жоғары сапасы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ететін азық-түлік өнімдерін өндіру үшін ауыл шаруашылығы шикізатын кешенді және терең өңдеу технологиясын әзірлеу” 2024-2026 жылдарға арналған ғылыми-техникалық бағдарламасының ” Дәстүрлі емес шикізатты (каныга) қолдана отырып, құрама жем технологиясын әзірлеу” жобасы шеңберінде дайындалды.

Әдебиеттер

1. Омбаев А.М., Мусабаев Б.И., Хамзин К.П. Современное состояние и перспективы развития овцеводства Казахстана // Овцы, козы, шерстяное дело. - 2013. -№ 2. - С.86-90

2. Milewski S. Health-promoting properties of sheep products // Medycyna Weterynaryjna. - 2006. – Vol.62 (5). -P.516-519

3. Mitra M., Brian R. Population, World Production and Quality of Sheep and Goat Products // American Journal of Animal and Veterinary Sciences. -2020. – Vol.15 (4). - P.291-299. DOI 10.3844/ajavsp.2020.291.299

4. Насонова В.В. Перспективные пути использования субпродуктов // Теория и практика переработки мяса. - 2018. -№ 3. - С.64-73. DOI 10.21323/2414-438X-2018-3-3-64-73

5. Кузлякина Ю.А., Юрчак З.А. К вопросу экологической безопасности: побочное сырье и отходы мясной промышленности // Все о мясе. -2017. -№ 6. -с.29-31

6. Нуриманшина Г.Р., Кузлякина Ю.А., Юрчак З.А. Сравнительный анализ подходов к управлению отходами мясной промышленности биологического происхождения в РФ, странах ЕС и США // Все о мясе -2021. -№ 6. - с. 4-10. DOI 10.21323/2071-2499-2021-6-4-10

7. Irshad, A., Sharma, B.D. Abattoir By-Product Utiliza tion for Sustainable Meat Industry: A Review // Journal of Animal Production Advances. -2015.-№ 5.-P.681-696. DOI 10.5455/JAPA.20150626043918.

8. Гиро Т.М., Хвыля С.И., Рогожин А.А., Гиро А.В. Переработка коллагенсодержащих субпродуктов мелкого рогатого скота // Инновационные технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов. Сборник научных трудов ученых и специалистов к 90-летию ВНИХИ. Москва. - 2020.- с.63-72

9. Cordeiro A.R., Bezerra T.K., Madruga M.S. Valuation of Goat and Sheep By-Products: Challenges and Opportunities for Their Use //Animals. -2022.-Vol.12(23):3277. DOI 10.3390/ani12233277

10. Mahmoud O.A., Khadiga A. Rumen Content as Animal Feed: A Review // University of Khatrum. Journal of Veterinary Medicine and Animal Production. -2016. - № 2. -P.80-88

References

1. Ombaev A.M., Musabaev B.I., Hamzin K.P. Covremennoe sostojanie i perspektivy razvitija ovcevodstva Kazahstana//Ovcy, kozy, sherstjanoe delo. - 2013. -№ 2.- S.86-90.[in Russian]

2. Milewski S. Health-promoting properties of sheep products // Medycyna Weterynaryjna. - 2006. – Vol.62 (5). -P.516-519

3. Mitra M., Brian R. Population, World Production and Quality of Sheep and Goat Products // American Journal of Animal and Veterinary Sciences. -2020. – Vol.15 (4). - P.291-299. DOI 10.3844/ajavsp.2020.291.299

4. Nasonova V.V. Perspektivnye puti ispol’ zovanija subproduktov // Teorija i praktika pererabotki mjasa. - 2018. -№ 3. - S.64-73. DOI 10.21323/2414-438H-2018-3-3-64-73. [in Russian]

5. Kuzljakina Ju.A., Jurchak Z.A. K voprosu jekologicheskoj bezopasnosti: pobochnoe syr’ e i othody mjasnoj promyshlennosti // Vse o mjase. -2017. -№ 6. - S.29-31.[in Russian]

6. Nurimanshina G.R., Kuzljakina Ju.A., Jurchak Z.A. Sravnitel’ nyj analiz podhodov k upravleniju othodami mjasnoj promyshlennosti biologicheskogo proishozhdenija v RF, stranah ES i SShA // Vse o mjase -2021. -№ 6. - S.4-10. DOI 10.21323/2071-2499-2021-6-4-10.[in Russian]

7. Irshad, A., Sharma, B.D. Abattoir By-Product Utiliza tion for Sustainable Meat Industry: A Review // Journal of Animal Production Advances. -2015.- № 5.-P.681-696. DOI 10.5455/JAPA.20150626043918.

8. Giro T.M., Hvylja S.I., Rogozhin A.A., Giro A.V. Pererabotka kollagensoderzhashhih subproduktov melkogo rogatogo skota // Innovacionnye tehnologii obrabotki i hranenija sel’ skohozjajstvennogo syr’ ja i pishhevyh produktov. Sbornik nauchnyh trudov uchenyh i specialistov k 90-letiju VNIHI. Moskva. - 2020.- S.63-72.

9. Cordeiro A.R., Bezerra T.K., Madruga M.S. Valuation of Goat and Sheep By-Products: Challenges and Opportunities for Their Use //Animals. -2022.-Vol.12(23):3277. DOI 10.3390/ani12233277

10. Mahmoud O.A., Khadiga A. Rumen Content as Animal Feed: A Review // University of Khatrum. Journal of Veterinary Medicine and Animal Production. -2016. - № 2. -P.80-88

Авторлар туралы мәліметтер

Кененбай Г.С. - техника ғылымдарының кандидаты, Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан, e-mail: g.kenenbay@rpf.kz;

Чоманов Уришбай - ҚР ҰҒА академигі, техника ғылымдарының докторы, профессор, Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан, e-mail: chomanov_u@mail.ru;

Идаятова М.А. - техника ғылымдарының магистрі, Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан, e-mail: idayatova_m@mail.ru.

Information about authors

Kenenbay G.S. - candidate of technical sciences, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industries, Almaty, Kazakhstan, e-mail: g.kenenbay@rpf.kz;

Chomanov Urishbay - Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industries, Almaty, Kazakhstan, e-mail: chomanov_u@mail.ru;

Idayatova M. A. - master of technical sciences, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industries, Almaty, Kazakhstan, e-mail:idayatova_m@mail.ru.

МРНТИ 65.09.05 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1095**

ОБЗОР О ПОЛЕЗНЫХ СВОЙСТВАХ МОРКОВИ (Аналитический обзор)

[1]А.А. Абдулдаева, [1]С.К. Тарджибаева, [1]Г.Н. Досжанова, [1,2]Н.А. Муханбетова, [1]О.М. Кожамкулов

[1]Медицинский университет Астана, Астана, Казахстан,
[2]Казахский агротехнический исследовательский университет им. Сакена Сейфуллина, Астана, Казахстан
Корреспондент-автор: mukhanbetova.n@amu.kz

Морковь (Daucus carota L.) - важная сельскохозяйственная культура семейства Apiaceae, имеющая высокую пищевую и биологическую ценность. Корнеплоды моркови содержат широкий спектр питательных веществ и биологически активных соединений, включая каротиноиды и флавоноиды. В данной статье представлен аналитический обзор современных научных данных о полезных свойствах моркови, включая ее антиоксидантное, противовоспалительное и онкопротекторное действия, а также влияния на иммунную систему. Отмечена высокая профилактическая ценность моркови как для взрослых, так и для детей. Регулярное потребление моркови в составе ежедневного рациона, в том числе в виде функциональных продуктов и натуральных добавок, способствует укреплению здоровья и снижению риска развития ряда хронических заболеваний.

Ключевые слова: морковь, каротиноиды, флавоноиды, антиоксидантная способность, антиканцерогенное свойство, иммунная система, функциональные продукты питания, натуральные добавки.

СӘБІЗДІҢ ПАЙДАЛЫ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ШОЛУ (Аналитикалық шолу)

[1]А.А. Абдулдаева, [1]С.К. Тарджибаева, [1]Г.Н. Досжанова, [1,2]Н.А. Муханбетова, [1]О.М. Кожамкулов

[1]Астана медицина университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: mukhanbetova.n@amu.kz

Сәбіз (Daucus carota L.) – жоғары қоректік және биологиялық құндылығымен бағаланатын, Apiaceae тұқымдасының маңызды ауыл шаруашылығы дақылы. Сәбіз тамырларында қоректік заттар мен биологиялық белсенді қосылыстар, соның ішінде каротиноидтар мен флавоноидтар бар. Бұл мақалада сәбіздің пайдалы қасиеттері, оның ішінде антиоксиданттық, қабынуға қарсы және онкопротекторлық әсерлері, сондай-ақ иммундық жүйеге әсері туралы заманауи ғылыми деректерге аналитикалық шолу берілген. Сәбіздің жоғары профилактикалық құндылығы ересектер үшін де, балалар үшін де атап өтілді. Сәбізді күнделікті рационның бөлігі ретінде, оның ішінде функционалды тағамдар мен табиғи қоспалар түрінде үнемі тұтыну денсаулықты жақсартуға және бірқатар созылмалы аурулардың даму қаупін азайтуға көмектеседі.

Түйін сөздер: сәбіз, каротиноидтар, флавоноидтар, антиоксиданттық қабілет, антиканцерогендік қасиет, иммундық жүйе, функционалдық тағамдар, табиғи қоспалар.

A REVIEW OF THE HEALTH BENEFITS OF CARROTS (Analytical review)

[1]A. Abduldayeva, [1]S. Tarjibaeva, [1]G. Doszhanova, [1,2]N. Mukhanbetova, [1]O. Kozhamkulov

[1]Astana Medical University, Astana, Kazakhstan,
[2]Saken Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan,
e-mail: mukhanbetova.n@amu.kz

Carrot (Daucus carota L.) is an important agricultural crop belonging to the Apiaceae family, valued for its high nutrional and biologigal significance. Carrot roots contain a wide range of nutrients and bioactive compounds, including carotenoids and flavonoids. This article presents an analytical review of current

scientific data on the beneficial properties of carrots, including their antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer effects, as well as their important on the immune system. The high preventive value of carrots is noted for both adults and children. Regular consumption of carrots as part of the daily diet, including in the form of functional foods and natural supplements, contributes to improved health and a risk of developing various chronic diseases.

Keywords: carrot, carotenoids, flavonoids, antioxidant activity, anticarcinogenic property, immune system, functional foods, natural supplements.

Введение. Природным источником важнейших витаминов и минеральных веществ в ежедневном рационе, согласно принципам здорового питания, служат овощи и фрукты. Одним из наиболее часто потребляемых продуктов в этой группе является морковь (Daucus carota L.). Этот популярный корнеплод выращивается по всему миру с древнейших времен, и интерес к нему не угасает до сих пор – особенно после открытия его выраженных антиоксидантных свойств. Морковь отличается разнообразием сортов, что проявляется в широкой цветовой палитре корнеплодов – от белого до фиолетового. Наиболее распространенной и популярной остается оранжевая морковь, богатая β-каротином - провитамином А [1].

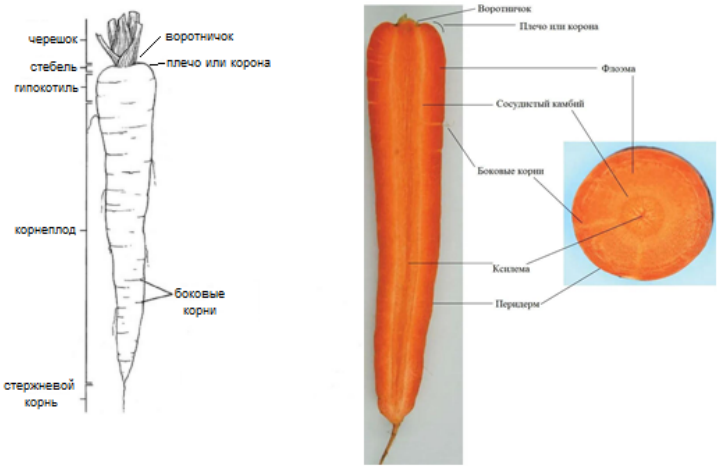


Рис.1 - Анатомия корнеплода моркови (А) продольный вид; (В) поперечный разрез (перидерма, флоэма и ксилема). (www.carrotmuseum.co.uk)

В Казахстане морковь выращивается во всех регионах страны, и ее потребление среди населения носит устойчивый характер. В 2023 году посевные площади моркови в хозяйствах составили 19,6 тыс. гектаров. Основные регионы-производители – Павлодарская область (34,3% от общего объема посевов), Жамбылская область (20,4%) и Алматинская область (14,7%). С развитием технологии капельного орошения, несмотря на колебания погодных условий, урожайность моркови по стране в 2023 году достигло 283,8 центнеров с гектара [2].

На начало 2022 года в Казахстане насчитывалось 206 065 тонн запасов моркови, что подчеркивает ее значимость как одного из основных продуктов продовольственного запаса страны и свидетельствует о высокой доступности продукта для населения [3]. Потребление моркови в Казахстане соответствует рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и составляет от 8 до 12 кг в год. Морковь широко используется в различных формах: в свежем виде (салаты, гарниры), в переработанном виде (соки, детское питания, морковное пюре, сублимированные морковные чипсы), в кулинарии (первые

и вторые блюда, выпечка), в сушёном и замороженном виде для хранения и экспорта, для производства хлебобулочных и кондитерских изделий (хлеб, цукаты, мармелад, пастила).

В Казахстане выращиваются различные сорта моркови зарубежной селекции (Laguna F1, Dordoni, Redko) и отечественной (Дербес, Ұшқын, Алау, Арнау-25). Оригинатором этих сортов является ТОО ”Казахский научно-исследовательский институт картофелеводства и овощеводства” (КазНИИКО), все они внесены в Государственный реестр селекционных достижений, рекомендуемых к использованию в РК. Данные сорта характеризуются высокой устойчивостью к заболеваниям, хорошими вкусовыми качествами и способностью адаптироваться к различным климатическим условиям регионов страны [4]. Характеристики казахстанских сортов моркови, выведенных в Казахстане, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Казахстанские сорта моркови

Сорт моркови	Описание сорта	Преимущества сорта	Качественные показатели сорта
Сорт «Алау»	Это один из самых первых сортов моркови, выведенных КазНИИКО. Он характеризуется ярко-оранжевым цветом корнеплодов и отличными вкусовыми качествами.	В 2022 году в Кызылординской области провели полевые испытания, где сорт показал высокую урожайность и товарность корнеплодов. Отличается хорошей лёжкостью и способностью сохранять свои вкусовые качества в течение долгого времени. Устойчивость к болезням и вредителям.	Сорт подходит для использования в свежем виде и переработке, отличается высоким содержанием каротина и витаминов.
Сорт ” Ұшқын”	Сорт выведен методом индивидуального отбора из образца иностранного происхождения с последующим направленным отбором на продуктивность и качество. Окраска корнеплода, мякоти и сердцевины оранжевая.	Сорт высокоурожайный, среднепоздний. Слабо поражается болезнями. Лёжкость корнеплодов при зимнем хранении высокая. Длина корнеплодов - 22-25 см, диаметр - 4,2-5,8 см. С 2015 года допущен к использованию в Алматинской области.	Средняя масса плода 131,4 г. Товарность 92,2%. Дегустационная оценка 5 баллов. Среднее содержание сухого вещества 12,9%, сахара 6,3%, каротиноидов 9,8 мг/%. Сорт характеризиуется высоким содержанием каротинов. Рекомендуется для потребления в свежем виде, переработки и длительного хранения.
Сорт ”Дербес”	Окраска поверхности и мякоти корнеплода оранжевая и светло-оранжевая, сердцевина – светло-оранжевая.	Сорт среднеспелый. Болезнями и вредителями поражается не значительно. Устойчив к мучнистой росе, относительно устойчив к альтернариозу. Длина корнеплодов в среднем 18 см. Рекомендуется для возделывания в Алматинской, Акмолинской областях.	Средняя масса плода 154,3 г. Товарность 81,3%. Содержание сухого вещества 12,8%, общего сахара 8%, каротиноидов 10,6 мг/100 г. Рекомендуется для использования в свежем виде в осенне-зимний и весений периоды.

Сорт ”Арнау-25”	Сорт среднеспелый, гибрид Казахстанской селекции от КазНИИКО. Окраска корнеплода, мякоти и сердцевины оранжевая.	Устойчив к болезням и климатическим условиям, устойчив к растрескиванию. Корнеплод конической формы, длина 11-18 см. Рекомендуется для возделывания в Алматинской, Жамбылской областях.	Средняя масса корнеплода 145 г., товарность 93%. Дегустационная оценка 4,7 баллов. Содержание сухого вещества 12,7%, витамина «С» 6,8 мг/%, каротина 16,2 мг/%. Предназначен для потребления, переработки и длительного хранения.

Морковь предпочитает рыхлые, хорошо дренированные почвы с нейтральной реакцией pH и высоким содержанием органических веществ – эти условия способствует активному накоплению каратиноидов. Для получения качественного урожая необходимо соблюдение агротехнических приемов: регулярного полива, особенно в засушливые периоды, а также защиты от вредителей, в том числе морковной мухи. Соблюдение правильной агротехнической техники позволяет получать стабильные урожаи с высокими пищевыми и потребительскими характеристиками.

Переработка моркови осуществляется как на крупных агропромышленных комплексах, так и в фермерских хозяйствах. Одним из перспективных направлений является использование морковного жмыха при производстве хлебобулочных изделий и молочной продукции функционального значения [5,6].

Морковь отличается не только выраженными вкусовыми качествами, но и богатым химическим составом, охватывающим все части растения от корнеплода до семян. Она является источником витаминов (A, B1, B2, B6, C, E, PP), минеральных веществ и других биологически активных веществ, соединений, оказывающих благоприятное влияние на здоровье человека. Корнеплоды содержат калий (200-282 мг), кальций (35-50 мг), магний (21мг), натрий (45 мг), фосфор (31-50 мг), марганец (40 мг), железо (0,7 мг) и йод (3,8 мг). По содержанию бора морковь занимает одно из ведущих мест среди овощей. Характеристика химического состава сырой моркови представлена в таблице 2.

При ежегодном потреблении свежей моркови в объеме 11 - 15,5 кг в год, согласно рекомендациям Института питания РК, при общем потреблении овощей 128 - 164 кг, организм получает необходимое количество питательных веществ, способствующих поддержанию здоровья [7].

Таблица 2 - Химический состав сырой моркови [8]

Химический компонент	*Содержание*
Влажность	86-89 мг/100 г СМ
Зольность	0.97-1.2 г/100 г СМ
Органические кислоты	1.07-2.79 г/100 г СМ
Сахара	2.73-11.24 г/100 г СМ
Кальций	34-80 мг/100 г СМ
Фосфор	25-53 мг/100 г СМ
Калий	240 мг/100 г СМ
Магний	9 мг/100 г СМ
Марганец	0.2-0.8 мг/100 г СМ
Железо	0.4-2.2 мг/100 г СМ

Натрий	40 мг/100 г СМ
Витамин С (L-аскорбиновая кислота)	1.05-5.3 мг/100 г СМ
Фенолы	7.3-224 мг/100 г СМ
Тетратерпеноиды (каротиноиды, хлорофиллы)	0.2-4.1 мг/100 г СМ
Фалькаринол*	16-84 мг/ кг СМ
Фалькариндол* (С17 полиацетилены)	8-27 мг/ кг СМ
Фалькариндол-3-ацетат*	8-40 мг/ кг СМ

*СМ-сырой массы. В зависимости от времени и условий хранения (через 30 дней значение может снизиться до 50% от первоначального значения). * Из культивируемой оранжевой моркови (D. carota ssp. sativus)*

Морковь содержит целый ряд ценнейших биологически активных веществ таких как: каротиноиды, антоцианы, флавоноиды и фенольные соединения. Основными пигментами, придающими корнеплодам оранжевую, желтую или красную окраску, являются α- и β-каротины. Желтая окраска обусловлена присутствием лютеинов, а фиолетовая – высоким содержанием антоцианов. Уровень каротиноидов зависит от сорта, условий выращивания, стадии зрелости, условий хранения, так как свет и кислород могут разрушать пигменты. Наибольшее количество β-каротина содержит темно-оранжевые сорта моркови – его доля может достигать 80-90% от общего содержания каротиноидов. Морковь содержит в среднем от 16 до 38 мг/100 г каротиноидов [9]. Данные о содержании каротиноидов представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Содержание каротиноидов в моркови

Каротиноид	**Содержание, (мг/100 г СМ)**	**Функция/особенности**
β-каротин	6–12	Главный предшественник витамина А (провитамин А)
α-каротин	1.0–2.5	Также является провитамином А
Лютеин	0.3–1.0	Не является провитамином А, но важен для зрения
Зеаксантин	0.05–0.3	Антиоксидант, играет роль в здоровье глаз
Фитофлуен, фитонен	0.01–0.1	Промежуточные соединения биосинтеза каротиноидов

Богатое содержание в моркови флавоновых гликозидов таких как: даукостерин, кемпферол, апигенин, кверцетин и лютеолин, а также полифенолов, включая хлорогеновую, кофейную и п-гидроксибензойную кислоты – обуславливает ее выраженные антиоксидантные и противораковые свойства. Это делает морковь перспективным сырьем для создания эффективных фитопрепаратов и натуральных биологически активных добавок [9].

Семена моркови также представляют интерес благодаря содержанию активных компонентов с биологическим действием. Так флавоновый гликозид даукостерин, содержащийся в экстракте из семян моркови, может способствовать расши-

рению коронарных артерий и улучшению кровообращение в сердце. Благодаря этим свойствам он применяется в медицине для снижения артериального давления и улучшения сердечно-сосудистой функции. Это делает даукостерин особенно полезным для людей с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, а также для тех, кто ограничивает потребление продуктов, содержащих холестерин. Эффективность даукостерина подтверждена клиническими исследованиями. Из семян моркови также получают препарат «Даукарин», обладающим спазмолитическим действием [10].

Другие соединения, содержащиеся в моркови, такие как фалькаринол и фалькариндиол, сесквитерпеноиды, кумарины и алкалоиды обладают антиоксидантным, антиканцерогенным действием, а также стимулирует иммунную систему [11].

Цель: провести аналитический обзор данных, опубликованных современным международным научным сообществом, по вопросам изучения полезных свойств моркови.

Результаты и обсуждение.

1. Антиоксидантная способность. Согласно научным данным, представленным в литературе, одним из важных свойств моркови является ее антиоксидантная активность. Это связано с высоким содержанием в моркови пищевых каротиноидов, полифенолов, полиацетиленов и витаминов, обладающих антиоксидантными свойствами. Эти компоненты защищают клетки организма от окислительного стресса, предотвращая повреждение ДНК и других клеточных структур путем нейтрализации свободных радикалов [12].

В исследовании ученых *Sameena Lone, Sumati Narayan и соавт*. (2025) было проанализировано 297 линий моркови, из которых 52 сорта использовались для оценки их терапевтического потенциала. Целью данного исследования было выявление генетического разнообразия и биологически активных соединений в этих сортах. Результаты показали наличие генотипов с высокой антиоксидантной и противораковой активностью [13], что подтверждает их перспективность для использования при создании нутрицевтиков и функциональных пищевых продуктов.

Морковь богата органическими кислотами, среди которых особенно выделяется *L*-аскорбиновая кислота (витамин С). Она играет ключевую роль в поддержании здоровья – помогает регулировать артериальное давление, предотвращает дефицит железа и укрепляет иммунную систему. Помимо неё, другие кислоты, такие как бензойная, гидроксикоринная и галловая, обладают антибактериальными, противовоспалительными и антимутагенными свойствами соответственно. Вместе с тем, пантотеновая, фолиевая, уксусная, янтарная, лимонная, молочная кислоты и их соли также способствуют лучшему усвоению железа организмом [14].

Антиоксидантными свойствами обладает аскорбиновая кислота. При этом важно отметить, что *L*-аскорбиновая кислота не синтезируется в организме человека, и основным источником является пища – в том числе овощи, такие как морковь. Согласно исследованию, *Alasalvar и соавт*. (2001), содержание *L*-аскорбиновой кислоты в сырой моркови варьируется от 1,0 до 5,3 мг на 100 г сырого продукта. Наименьшее количество зафиксировано в белой моркови (1,3 мг/100г), а наибольшее – в оранжевой (5,3 мг/100г), что делает последнюю ценным источником этого жизненно важного витамина [15].

Исследования *Zhang D. & Hamauzu Y.* (2004) показали, что флавоноиды и производные фенола, содержащиеся в моркови (Daucus carota L.), обладают также выраженными антиоксидантной активностью. Авторы пришли к выводу, что регулярное потребление моркови может способствовать снижению воспалительных процессов в организме [16].

Анализ работы *Hartati R, Amalina M. N. & Fidrianny I.* (2020) продемонстрировал, что экстракты моркови, особенно из листьев и корней, обладают выраженной и различной по степени антиоксидантной активностью, что связано с высоким содержанием фенолов и флавоноидов [17]. Это подчеркивает биологическую ценность не только корнеплода, но и его надземных

частей.

2. Антиканцерогенное свойство. Следующей важной особенностью данной культуры является её противоопухолевое действие. В ряде исследований были установлено, что некоторые соединения, содержащиеся в моркови, способны подавлять рост клеток различных линий раковых опухолей путём вмешательства в процессы клеточной пролиферации, апоптоза и воспаления.

Например, доказано, что среди полиацетиленовых оксилипинов, присутствуют такие вещества как фалькаринол (FaOH, (3R,9Z)-1,9-гептадекадиен-4,6-диин-3-ол,) и фалькариндиол (FaDOH, (3R,8S,9Z)-1,9-гептадекадиен-4,6-диин-3,8-диол). Эти соединения (рис.2) обладают как цитотоксической, так и противовоспалительной активностью, что делает их перспективными в профилактике онкологических заболеваний, особенно колоректального рака (КРР) [18].

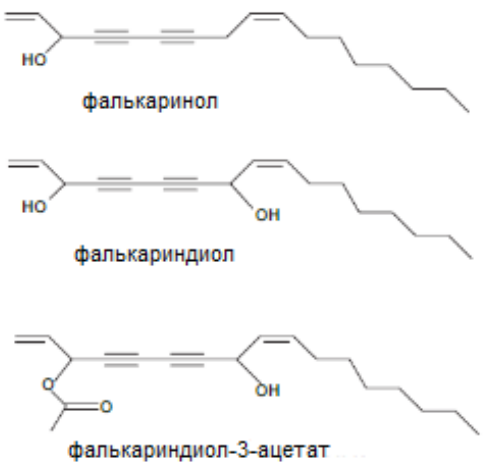


Рис.2 – Химические структуры фалькаринола, фалькариндиола и фалькариндиол 3-ацетата. Эти соединения частично отвечают за характерный морковный аромат

В 2022 году в журнале *Frontiers in Nutrition* была опубликована статья *Zongze Jiang и соавт.*, в которой исследуется связь между потреблением моркови и каротиноидов и риском заболеваемости и смертности от КРР в рамках рандомизированного клинического исследования Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian Cancer Screening Trial (PLCO). В данном исследовании приняли участие 101 680 человек, за которыми наблюдали в среднем 9,4 года. Это крупное когортное исследование показало снижение риска развития КРР при регулярном употреблении моркови (7,6–15,3 г/день) на 21%, что подтверждает её профилактический эффект [19]. Влияние моркови и входящего в её состав фалькаринола на развитие пренеопластических поражений толстой кишки у крыс, вызванных азоксиметаном, рассматривали также *Kobaek-Larsen M.* и его коллеги (2005), где были получены результаты значительного снижения количества опухолевого роста у крыс, которые получали диетическое лечение морковью и фалькаринола [20].

Ученые из Дании оценили связь между потреблением моркови и риском развития КРР в когортном исследовании с участием 57 053 людей при длительном периоде наблюдения. Участники, потреблявшие более 2- 4 сырых моркови в неделю (свыше 32г/день), имели на 17% более низкий риск развития КРР по сравнению с теми, кто не употреблял сырую морковь, даже после всесторонней корректировки статистической модели. В то же время потребление менее 2 – 4 кг морковей в неделю (<32г/день) не продемонстрировали статистически значимого снижения риска. Эти данные подтверждают защитный эффект моркови против КРР, ранее выявленный в доклинических исследованиях на животных [18].

Кроме того, согласно метаанализу, в ходе которого было идентифицировано 81 исследование (в итоговый анализ включено 5 работ), было установлено статистически значимое снижение риска развития рака желудка на 26% при потреблении моркови (OR = 0.74; 95% ДИ: 0,68 – 0,81; P <0,0001) [21].

Есть исследования, показывающие, что полиацетилены, содержащиеся в моркови, обладают противолейкозной активностью. Согласно работе *Zaini R. и соавт.* (2011), экстракты морковного сока индуцируют апоптоз и тормозят пролиферацию клеток миелоидного и лимфоидного лейкоза. Это действие авторы связывают с

β-каротином и фалькаринолом, что делает морковь потенциальным источником биоактивных соединений для терапии лейкемии [22].

Употребление моркови также связано со снижением риска развития рака легких. Метаанализ *Xu et al.* (2019), включающий 202 969 человек и 5 517 пациентов с раком легких, показал, что регулярное потребление моркови снижает риск развития этого заболевания на 42% (OR = 0,58). Более глубокий защитный эффект наблюдался при аденокарциноме и смешанных формах рака лёгких. Ключевыми защитными веществами являются α- и β-каротины, обладающие антиоксидантными свойствами, нейтрализующими свободные радикалы и защищающими лёгочную ткань. Хотя в данной работе влияние моркови на пациентов с уже диагностированным раком напрямую не рассматривалось, авторы отмечают, что каротиноиды могут тормозить рост опухолевых клеток, снижать их инвазивность и миграцию, а также поддерживать антиоксидантный баланс организма. Однако это требует дополнительного клинического подтверждения [23].

Таким образом, включение сырой моркови в рацион питания может рассматриваться как эффективная стратегия профилактики некоторых видов рака, особенно колоректального, благодаря содержанию в ней биоактивных каротиноидов и полиацетиленов.

3. Витамины и минералы. Морковь отличается также содержанием витаминов и минералов, в том числе водорастворимым витамином С и жирорастворимыми формами витамина Е (α- и γ-токоферолы, токотриенолы). Витамин Е, обладающий антиоксидантным действием, защищает клеточные мембраны от окислительного стресса, фотостарения и ряда заболеваний, включая рак и атеросклероз. α-Токоферол как основной антиоксидант эпидермиса кожи человека особенно важен для защиты её от внешних факторов.

Кроме высокого содержания β-каротина, предотвращающего нарушения зрения, включая дегенерацию жёлтого пятна и катаракту, и других каротиноидов с высокой антиоксидантной активностью, морковь является источником витаминов А, В1, В2, В6, В9, К, РР, биотин, которые участвуют в метаболизме и поддержании роста детей [8].

Витамин С способствует усвоению негемового железа и имеет важное значение для борьбы с инфекциями, а витамин К (филлохинон) влияет на гемостаз. В1 (тиамин) благоприятно воздействует на нервную систему и психическое состояние; В2 (рибофлавин) необходим для клеточного дыхания и образования красных кровяных телец; В6 (пиридоксин) снижает риск сердечных заболеваний [8].

Морковь богата на пищевые волокна и микроэлемент молибден, который относится к редким, встречающимся в овощах. Молибден важен в усвоении железа и метаболизме жиров и углеводов. В моркови имеется достаточное количество магния и марганца. Магний необходим для формирования костной ткани, синтеза белков, активации витаминов группы В и для расслабления мышц, свертывания крови, участвует в процессе секреции инсулина. Марганец способствует метаболизму глюкозы, взаимодействуя с ферментами в организме [12].

4. Каротиноиды. Каротиноиды – это группа изопреноидных молекул, присутствующих во всех фотосинтезирующих растениях. Каротиноиды можно найти в зеленых листьях, пыльце цветковых растений, лепестках цветов, корнях, зернах и плодах растений, водорослях.

В моркови присутствуют два типа каротиноидов – каротины и ксантофилы. Основными каротиноидами (рис.3) в корнеплодах моркови являются β-каротин (75%); α-каротин (23%), лютеин (1,9%), а также β-криптоксантин, ликопин и зеаксантин [24].

Морковь является основным растительным источником провитамина А и накапливает высокие уровни β- и α-каротина. При общем содержании каротиноидов 268,64 мг/100г сырой массы, количество β-каротина составляет 156,91, α-каротина – 108,53 мг/100г или 58,4 и 40,4% соответственно. В зависимости от окраски моркови содержание каротинов изменяется и может со-

ставлять, мг/кг: желтая – 2,6; темно-оранжевая – 160; красная – 73; фиолетово-желтая – 92; фиолетовооранжевая – 40. Желтые и красные сорта моркови также богаты лютеином и ликопином [25].

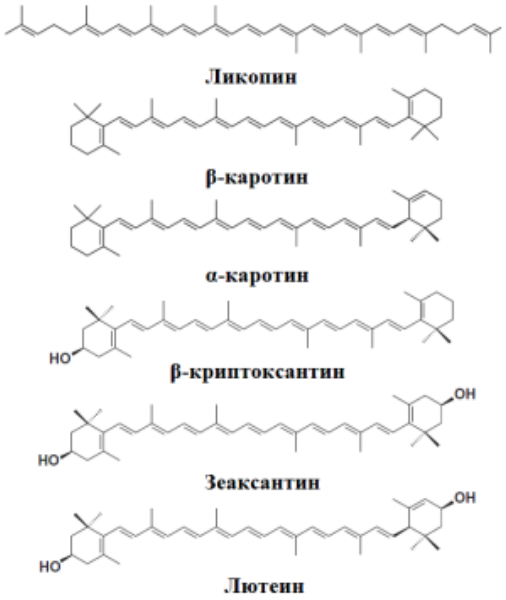


Рис.3 – Химическая структура каротиноидов, наиболее часто встречающихся в свежей моркови

В работе казахстанских ученных по изучение районированных сортов плодоовощной продукции для разработки технологий получения биоэкологических продуктов с функциональными свойствами были исследованы два сорта моркови на общее содержание каротина (мг/кг) и витамина С (мг%), которые составили: для сорта моркови “Алау” 9,8±0,2 и 5,66±0,1 и сорта “Шантанэ” 9,6±0,2 и 5,86±0,1 соответственно [26].

Животные и человек не могут синтезировать каротиноиды, что делает каротиноиды незаменимыми компонентами в питании. В различных странах среднее потребление β-каротина варьируется в пределах 1,8 – 5,0 мг в сутки, а рекомендуемые суточные дозы составляют 5-6 мг. При содержании β-каротина в 100 граммах моркови от 4 до 20 мг употребление этой порции моркови в день покрывает полную физиологическую потребность [25]. Для максимального усвоения β-каротина и его превращения в витамин А, морковь следует употреблять в сыром виде с добавлением небольшого количества жиров – достаточно одной столовой ложки растительного масла или сметаны на 100 г продукта.

В 2009 году ученые *Brazionis L. и соавт*. представили работу о потенциальной пользе моркови при лечении диабета. У пациентов с диабетом 2 типа, у которых наблюдались более низкие уровни каротиноидов, таких как ликопен, лютеин и заексантин, имелись более высокие уровни ретинопатии [27]. В другой работе показано, что морковный сок, ферментированный Lactobacillus rhamnosus GG (LGG) и обогащенный фенолами и короткоцепочечными жирными кислотами, может регулировать уровень глюкозы в крови и инсулина у крыс с сахарным диабетом, изменяя состав кишечной микробиоты [28].

Полезные свойства моркови при употреблении у детей приносят такую же пользу организму, как и у взрослых. Каротиноиды моркови играют решающую роль в здоровье детей, и исследования демонстрируют различные взаимосвязи. Высокие концентрации α- и β-каротинов обратно коррелируют с показателями ожирения и уровня триглицеридов у детей, подчеркивая их защитные эффекты в отношении признаков кардиометаболического риска [29].

По данным исследования *Rosok L. в соавт*. (2022), высокий каротиноидный статус связан с высоким уровнем когнитивных функций и широкими математическими навыками у детей школьного возраста [30]. Приём добавок с витамином А играет решающую роль в снижении уровня заболеваемости и смертности среди детей в возрасте от 6 месяцев до 5 лет [31]. Исследования *Goodwin S. и соавт*. (2023) показывают, что ранее введение богатой флавоноидами диеты может потенциально снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний в будущей жизни. Иммуномодулирующее действие данных биоактивных веществ влияет и на формирование, и на укрепление иммунной системы у детей [32]. В качестве источника таких соединений в детском меню чаще всего предлагается морковь.

Для детей варёная морковь предпочтительнее сырой, так как в ней меньше грубых растител-

ных волокон. При варке моркови на пару витамины в ней сохраняются лучше, особенно если её варить в кожуре, а содержание β-каротина увеличивается от 25% (при паровой обработке) и до 79% (при запекании) [33]. Отварная морковь также содержит меньше клетчатки и пектина, что способствует ее лучшему перевариванию. В то же время установлено, что термическая обработка моркови, особенно обжаривание, снижает содержание каротиноидов и, соответственно, ее общую антиоксидантную способность [34].

Физиологическая роль каротиноидов весьма разнообразна, однако современные исследования показывают, что её понимание всё ещё не завершено. Каждый год появляются новые данные о влиянии как хорошо изученного β-каротина, так и других представителей этого класса веществ.

Анализ научной литературы свидетельствует о высокой пищевой и биологической ценности моркови, также о её значительном положительном влиянии на здоровье и профилактику различных заболеваний.

В НИИ профилактической медицины имени Академика Е.Д.Даленова НАО «Медицинский университет Астана» в целях создания пищевых натуральных добавок и функциональных продуктов из моркови начались работы по изучению химического состава, определению уровня содержания β-каротина и уровня антиоксидантной активности в казахстанских сортах столовой моркови Алау, Дербес, Ұшқын, Арнау, а также работы по влиянию различных методов термической обработки на уровень витаминов и β-каротина в моркови. Эти исследования в дальнейшем важны для разработки эффективных и питательно оптимизированных кулинарных подходов, особенно в контексте улучшения питания населения и профилактике различных заболеваний.

Выводы. Научные работы, проанализированные в обзоре подтверждают, что морковь, благодаря высокому содержанию каротиноидов, антоцианов, флавоноидов, фенолов и других биологически активных соединений, обладает выраженными антиоксидантными, иммуномодулирующими, антимутагенными, антиинфекционными и антиканцерогенными свойствами. Эти качества делают морковь ценным источником сырья для создания здоровых продуктов питания и натуральных добавок. Особое внимание следует уделить включению моркови в любом виде в рацион питания детей, так как регулярное её потребление поможет снизить риск заболеваний в их дальнейшей жизни и поспособствует укреплению здоровья на протяжении всей жизни.

Литература

1. Simon P.W. Domestication, Historical Development and Modern Breeding of Carrot.//Plant Breeding Reviews. - 2000.- Vol.19. - P.157-190. DOI 10.1002/9780470650172.ch5.

2. Аналитическая статья «Рынок моркови Казахстана - некоторые тенденции». [Электронный ресурс]. URL:https://ab-center.ru/news/rynok-morkovi-kazahstana---nekotorye-tendencii/- Дата обращения: 01.04.2025.

3. Аналитическая статья [Электронный ресурс] URL: https://east-fruit.com.- Дата обращения: 01.04.2025.

4. Информация о казахстанских сортах моркови. [Электронный ресурс] URL: https://baibolsyn.kz Дата обращения: 01.04.2025.

5. Абай Г.К., Жонысова М.У., Тултабаева Т.Ч. Исследование витаминного состава добавки из моркови с целью обогащения молочной продукции функционального назначения//Вестник Алматинского технологического университета. -2019. -№ 3. - С.52-56.

6. Нечушкина А. Д., Альшевская М. Н. Обоснование возможности использования жмыха моркови

и рисовой муки в технологии мучных кондитерских изделий типа «крекеры»// Научный журнал «Вестник молодежной науки».- 2021.-Vol.3(30). DOI10.46845/2541-8254-2021-3(30)-14-14.

7. Косанов С. У. Сулейменова Ж. Ж. Влияние сроков посева на продуктивность моркови сорта «Алау» в условиях Кызылординской области.//Молодой ученый.- 2017.- № 20(154).- С.14-16.

8. Mandrich L, Esposito A.V, Costa S, Caputo E. Chemical Composition, Functional and Anticancer Properties of Carrot// Molecules.-2023.- Vol.28(20):7161. DOI 10.3390/molecules28207161.

9. Ahmad T., Cawood M., Iqbal Q., Ariño A., Batool A., Tariq R.M.S., Azam M., Akhtar S. Phytochemicals in Daucus carota and Their Health Benefits -Review Article.// Foods. -2019. – Vol.8(9):424. DOI
10.3390/foods8090424.

10. Киселева Т.Л. и др. Лечебные свойства некоторых огородных растений семейства сельдерейные//Традиционная медицина.- 2009.- № 3. - С.30-36.

11. Fu HW, Zhang L, Yi T, Feng YL, Tian JK. Two new guaiane-type sesquiterpenoids from the fruits of Daucus carota L// Fitoterapia. - 2010. -Vol.81(5): 443-6. DOI 10.1016/j.fitote.2009.12.008.

12. Khyati Varshney , Kirti Mishra. An Analysis of Health Benefits of Carrot //International Journal of Innovative Research in Engineering and Management (IJIREM).- 2022.- Vol.9(1).-P.211-214. DOI 10.55524/ijirem.2022.9.1.40

13. Lone S., Narayan. S, Hussain K., Malik M., Yadav SK., Khan FA, Safa A., Ahmad A., Masoodi KZ. Investigating the antioxidant and anticancer potential of Daucus spp. extracts against human prostate cancer cell line C4-2, and lung cancer cell line A549//Journal of Ethnopharmacology.- 2025-337(Pt 2): 118855. DOI 10.1016/j.jep.2024.118855.

14. Yusuf E.,Tkacz K., Turkiewicz I.P., Wojdyło A., Nowicka P. Analysis of chemical compounds' content in different varieties of carrots, including qualification and quantification of sugars, organic acids, minerals, and bioactive compounds by UPLC.// Eur. Food Res.Technol. - 2021. -Vol.247.- P.3053-3062. DOI
10.1007/s00217-021-03857-0.

15. Alasalvar C., Grigor JM., Zhang D., Quantick PC., Shahidi F. Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. //Agric Food Chem.- 2001. - Vol.49(3): 1410-6. DOI 10.1021/jf000595h.

16. Zhang. D., Hamauzu Y. Phenolic Compounds and Their Antioxidant Properties in Different Tissues of Carrots (Daucus carota L.)//Journal of Food, Agriculture and Environment (JFAE). – 2004.- Vol.2(1). - P. 95-100. DOI 10.1234/4.2004.102.

17. Hartati R., Amalina M. N., Fidrianny I. Antioxidant activities of roots, leaves, and stems of carrot (Daucus carota L.) using DPPH and FRAP methods//International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences.-2020.-Vol.11(SPL4).- P.2856-2863. DOI 10.26452/ijrps.v11iSPL4.4570.

18. Ulrik Deding, Gunnar Baatrup, Lars Porskjær Christensen, and Morten Kobaek-Larsen. Carrot Intake and Risk of Colorectal Cancer: A Prospective Cohort Study of 57,053 Danes.// Nutrients. - 2020.- Vol.12 (2): 332. DOI 10.3390/nu12020332.

19. Zongze Jiang, Huilin Chen, Ming Li, Wei Wang, Chuanwen Fan, Feiwu Long. Association of Dietary Carrot/Carotene Intakes With Colorectal Cancer Incidence and Mortality in the Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian Cancer Screening Trial.//Frontiers in Nutrition.- 2022. Vol.9. DOI 10.3389/fnut.2022.888898.

20. Kobaek-Larsen M., Christensen L.P, Vach W., Ritskes-Hoitinga J., Brandt K. Inhibitory effects of

feeding with carrots or (-)-falcarinol on development of azoxymethane-induced preneoplastic lesions in the rat colon // J Agric Food Chem.- 2005.-Vol.53(5):1823-7. DOI 10.1021/jf048519s

21. Hossein Fallahzadeh, Ali Jalali, Mahdieh Momayyezi, Soheila Bazm. Effect of Carrot Intake in the Prevention of Gastric Cancer: A Meta-Analysis.// Journal of Gastric Cancer. - 2015.- Vol.15(4).-P.256-261. DOI 10.5230/jgc.2015.15.4.256.

22. Rana Zaini, Malcolm R. Clench, and Christine L. Le Maitre. Bioactive chemicals from carrot (Daucus carota) juice extracts for the treatment of leukemia// Journal of Medicinal Food.-2011.-Vol.14(11).- P. 1303-1312. DOI 10.1089/jmf.2010.0284

23. Hongbin Xu, Heng Jiang, Wei Yang, Fujian Song, Shijiao Yan., *et al*. Is carrot consumption associated with a decreased risk of lung cancer? A meta-analysis of observational studies// British Journal of Nutrition.- 2019.-Vol.122(5).-P.488-498. DOI 10.1017/S0007114519001107.

24. Søltoft M., Bysted A., Madsen K.H., Mark A.B., Bügel S.G., Nielsen J., Knuthsen P. Effects of organic and conventional growth systems on the content of carotenoids in carrot roots, and on intake and plasma status of carotenoids in humans//J. Sci. Food Agric.-2011.-91(4).- P.767-775. DOI 10.1002/jsfa.4248.

25. Кощаев И.А., Рядинская А.А., Чуев С.А. и др. Технологии производства и переработки моркови: монография// Екатеринбург: Ridero, 2022. - 236 с. ISBN 978-5-0059-1675-4.

26. Велямов М.Т., Оспанов А.Б., Попова Н.В. и др. Изучение районированных сортов плодоовощной продукции для разработки технологий получения биоэкологических продуктов с функциональными свойствами//Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2022. - Т.10(1). - С.30-38. DOI 10.14529/food220104.

27. Brazionis L., Rowley K., Itsiopoulos C., O'Dea K. Plasma Carotenoids and Diabetic Retinopathy // The British Journal of Nutrition.- 2009. -101(2). - P.270-277. DOI 10.1017/S0007114508006545.

28. Rongkang Hu., Feng Zeng, Linxiu Wu, Xuzhi Wan, Yongfang Chen, Jiachao Zhang., Bin Liu Fermented carrot juice attenuates type 2 diabetes by mediating gut microbiota in rats.//Food & Function. -2019.-Vol.10.- P.2935-2946. DOI 10.1039/c9fo00475k.

29. Srinivas Mummidi, Vidya S., Farook, Lavanya Reddivari, Joselín Hernández-Ruiz, Alvaro Diaz-Badillo, et al. Serum carotenoids and Pediatric Metabolic Index predict insulin sensitivity in Mexican American children.// Scientific Reports. -2021.- Vol.11(1):871. DOI 10.1038/s41598-020-79387-8.

30. Rosok L.M, Cannavale C.N, Keye S.A, Holscher H.D, Renzi-Hammond L., Khan N.A. Skin and macular carotenoids and relations to academic achievement among school-aged children.// Nutr Neurosci. – 2025.-28(3). - P.308-320. DOI 10.1080/1028415X.2024.2370175.

31. Imdad A., Mayo-Wilson E., Haykal M.R., Regan A., Sidhu J., Smith A., Bhutta Z.A. Vitamin A. supplementation for preventing morbidity and mortality in children from six months to five years of age.//Cochrane Database Syst Rev. - 2022.-Vol.3(3): CD008524.

DOI 10.1002/14651858.CD008524.pub4.

32. Goodwin S., Lyons-Wall P., Lo J., et al. Flavonoid provision to 2–3-year-old children in 30 long day care centres across metropolitan Perth, Western Australia//Proceedings of the Nutrition Society. -2023. 82(OCE2):E146. DOI 10.1017/S0029665123001556.

33. Agnieszka Narwojsz, Tomasz Sawicki, Beata Piłat and Małgorzata Tańska. Effect of Heat Treatment Methods on Color, Bioactive Compound Content, and Antioxidant Capacity of Carrot Root. // Appl. Sci.-2025.- Vol.15(1). - P.254. DOI10.3390/app15010254.

34. Amy Schmiedeskamp, Monika Schreiner, Susanne Baldermann. Impact of Cultivar Selection and Thermal Processing by Air Drying, Air Frying, and Deep Frying on the Carotenoid Content and Stability

and Antioxidant Capacity in Carrots (Daucus carota L.)// Journal of Agricultural and Food Chemistry. - 2022. - Vol.70(5). - P.1629-1639. DOI 10.1021/acs.jafc.1c05718.

References

1. Simon P.W. Domestication, Historical Development and Modern Breeding of Carrot.//Plant Breeding Reviews. - 2000.- Vol.19. - P.157-190. DOI 10.1002/9780470650172.ch5.

2. Analiticheskaja stat’ ja «Rynok morkovi Kazahstana - nekotorye tendencii». [Jelektronnyj resurs]. URL: https://ab-center.ru Data obrashhenija: 01.04.2025.[in Russian].

3. Analiticheskaja stat’ ja [Jelektronnyj resurs] URL: https://east-fruit.com .- Data obrashhenija: 01.04.2025. [in Russian].

4. Informacija o kazahstanskih sortah morkovi. [Jelektronnyj resurs] URL: https://baibolsyn.kz .- Data obrashhenija: 01.04.2025. [in Russian].

5. Abaj G.K., Zhonysova M.U., Tultabaeva T.Ch. Issledovanie vitaminnogo sostava dobavki iz morkovi s cel’ ju obogashhenija molochnoj produkcii funkcional’ nogo naznachenija//Vestnik Almatinskogo tehnologicheskogo universiteta. -2019. -№ 3. - S.52-56. [in Russian].

6. Nechushkina A. D., Al’ shevskaja M. N. Obosnovanie vozmozhnosti ispol’ zovanija zhmyha morkovi i risovoj muki v tehnologii muchnyh konditerskih izdelij tipa «krekery»// Nauchnyj zhurnal «Vestnik molodezhnoj nauki».- 2021.-Vol.3(30). DOI10.46845/2541-8254-2021-3(30)-14-14. [in Russian].

7. Kosanov S. U. Sulejmenova Zh. Zh. Vlijanie srokov poseva na produktivnost’ morkovi sorta «Alau» v uslovijah Kyzylordinskoj oblasti.//Molodoj uchenyj.- 2017.- № 20(154).- S.14-16. [in Russian].

8. Mandrich L, Esposito A.V, Costa S, Caputo E. Chemical Composition, Functional and Anticancer Properties of Carrot// Molecules.-2023.- Vol.28(20):7161. DOI 10.3390/molecules28207161.

9. Ahmad T., Cawood M., Iqbal Q., Ariño A., Batool A., Tariq R.M.S., Azam M., Akhtar S. Phytochemicals in Daucus carota and Their Health Benefits -Review Article.// Foods. -2019. – Vol.8(9):424. DOI
10.3390/foods8090424.

10. Kiseleva T.L. i dr. Lechebnye svojstva nekotoryh ogorodnyh rastenij semejstva sel’ derejnye // Tradicionnaja medicina.- 2009.- № 3. - S.30-36. [in Russian].

11. Fu HW, Zhang L, Yi T, Feng YL, Tian JK. Two new guaiane-type sesquiterpenoids from the fruits of Daucus carota L// Fitoterapia. - 2010. -Vol.81(5): 443-6. DOI 10.1016/j.fitote.2009.12.008.

12. Khyati Varshney , Kirti Mishra. An Analysis of Health Benefits of Carrot //International Journal of Innovative Research in Engineering and Management (IJIREM).- 2022.- Vol.9(1).-P.211-214. DOI 10.55524/ijirem.2022.9.1.40

13. Lone S., Narayan. S, Hussain K., Malik M., Yadav SK., Khan FA, Safa A., Ahmad A., Masoodi KZ. Investigating the antioxidant and anticancer potential of Daucus spp. extracts against human prostate cancer cell line C4-2, and lung cancer cell line A549//Journal of Ethnopharmacology.- 2025-337(Pt 2): 118855. DOI 10.1016/j.jep.2024.118855.

14. Yusuf E.,Tkacz K., Turkiewicz I.P., Wojdyło A., Nowicka P. Analysis of chemical compounds’ content in different varieties of carrots, including qualification and quantification of sugars, organic acids, minerals, and bioactive compounds by UPLC.// Eur. Food Res.Technol. - 2021. -Vol.247.- P.3053-3062. DOI
10.1007/s00217-021-03857-0.

15. Alasalvar C., Grigor JM., Zhang D., Quantick PC., Shahidi F. Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. //Agric Food Chem.- 2001. - Vol.49(3): 1410-6. DOI 10.1021/jf000595h.

16. Zhang. D., Hamauzu Y. Phenolic Compounds and Their Antioxidant Properties in Different Tissues of Carrots (Daucus carota L.)//Journal of Food, Agriculture and Environment (JFAE). – 2004.- Vol.2(1). - P. 95-100. DOI 10.1234/4.2004.102.

17. Hartati R., Amalina M. N., Fidrianny I. Antioxidant activities of roots, leaves, and stems of carrot (Daucus carota L.) using DPPH and FRAP methods//International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences.-2020.-Vol.11(SPL4).- P.2856-2863. DOI 10.26452/ijrps.v11iSPL4.4570.

18. Ulrik Deding, Gunnar Baatrup, Lars Porskjær Christensen, and Morten Kobaek-Larsen. Carrot Intake and Risk of Colorectal Cancer: A Prospective Cohort Study of 57,053 Danes.// Nutrients. - 2020.- Vol.12 (2): 332. DOI 10.3390/nu12020332.

19. Zongze Jiang, Huilin Chen, Ming Li, Wei Wang, Chuanwen Fan, Feiwu Long. Association of Dietary Carrot/Carotene Intakes With Colorectal Cancer Incidence and Mortality in the Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian Cancer Screening Trial.//Frontiers in Nutrition.- 2022. Vol.9. DOI 10.3389/fnut.2022.888898.

20. Kobaek-Larsen M., Christensen L.P, Vach W., Ritskes-Hoitinga J., Brandt K. Inhibitory effects of feeding with carrots or (-)-falcarinol on development of azoxymethane-induced preneoplastic lesions in the rat colon // J Agric Food Chem.- 2005.-Vol.53(5):1823-7. DOI 10.1021/jf048519s

21. Hossein Fallahzadeh, Ali Jalali, Mahdieh Momayyezi, Soheila Bazm. Effect of Carrot Intake in the Prevention of Gastric Cancer: A Meta-Analysis.// Journal of Gastric Cancer. - 2015.- Vol.15(4).-P.256-261. DOI 10.5230/jgc.2015.15.4.256.

22. Rana Zaini, Malcolm R. Clench, and Christine L. Le Maitre. Bioactive chemicals from carrot (Daucus carota) juice extracts for the treatment of leukemia// Journal of Medicinal Food.-2011.-Vol.14(11).- P. 1303-1312. DOI 10.1089/jmf.2010.0284

23. Hongbin Xu, Heng Jiang, Wei Yang, Fujian Song, Shijiao Yan., *et al*. Is carrot consumption associated with a decreased risk of lung cancer? A meta-analysis of observational studies// British Journal of Nutrition.- 2019.-Vol.122(5).-P.488-498. DOI 10.1017/S0007114519001107.

24. Søltoft M., Bysted A., Madsen K.H., Mark A.B., Bügel S.G., Nielsen J., Knuthsen P. Effects of organic and conventional growth systems on the content of carotenoids in carrot roots, and on intake and plasma status of carotenoids in humans//J. Sci. Food Agric.-2011.-91(4).- P.767-775. DOI 10.1002/jsfa.4248.

25. Koshhaev I.A., Rjadinskaja A.A., Chuev S.A. i dr. Tehnologii proizvodstva i pererabotki morkovi: monografija// Ekaterinburg: Ridero, 2022. - 236 c. ISBN 978-5-0059-1675-4. [in Russian].

26. Veljamov M.T., Ospanov A.B., Popova N.V. i dr. Izuchenie rajonirovannyh sortov plodoovoshhnoj produkcii dlja razrabotki tehnologij poluchenija biojekologicheskih produktov s funkcional' nymi svojstvami // Vestnik JuUrGU. Serija «Pishhevye i biotehnologii». – 2022. - T.10(1). - S.30-38. DOI 10.14529/food220104. [in Russian].

27. Brazionis L., Rowley K., Itsiopoulos C., O'Dea K. Plasma Carotenoids and Diabetic Retinopathy // The British Journal of Nutrition.- 2009. -101(2). - P.270-277. DOI 10.1017/S0007114508006545.

28. Rongkang Hu., Feng Zeng, Linxiu Wu, Xuzhi Wan, Yongfang Chen, Jiachao Zhang., Bin Liu Fermented carrot juice attenuates type 2 diabetes by mediating gut microbiota in rats.//Food & Function. -2019.-Vol.10.- P.2935-2946. DOI 10.1039/c9fo00475k.

29. Srinivas Mummidi, Vidya S., Farook, Lavanya Reddivari, Joselín Hernández-Ruiz, Alvaro Diaz-

Badillo, et al. Serum carotenoids and Pediatric Metabolic Index predict insulin sensitivity in Mexican American children.// Scientific Reports. -2021.- Vol.11(1):871. DOI 10.1038/s41598-020-79387-8.

30. Rosok L.M, Cannavale C.N, Keye S.A, Holscher H.D, Renzi-Hammond L., Khan N.A. Skin and macular carotenoids and relations to academic achievement among school-aged children.// Nutr Neurosci. – 2025.-28(3). - P.308-320. DOI 10.1080/1028415X.2024.2370175.

31. Imdad A., Mayo-Wilson E., Haykal M.R., Regan A., Sidhu J., Smith A., Bhutta Z.A. Vitamin A. supplementation for preventing morbidity and mortality in children from six months to five years of age.//Cochrane Database Syst Rev. - 2022.-Vol.3(3): CD008524.

DOI 10.1002/14651858.CD008524.pub4.

32. Goodwin S., Lyons-Wall P., Lo J., et al. Flavonoid provision to 2–3-year-old children in 30 long day care centres across metropolitan Perth, Western Australia//Proceedings of the Nutrition Society. -2023. 82(OCE2):E146. DOI 10.1017/S0029665123001556.

33. Agnieszka Narwojsz, Tomasz Sawicki, Beata Piłat and Małgorzata Tańska. Effect of Heat Treatment Methods on Color, Bioactive Compound Content, and Antioxidant Capacity of Carrot Root. // Appl. Sci.- 2025.- Vol.15(1). - P.254. DOI10.3390/app15010254.

34. Amy Schmiedeskamp, Monika Schreiner, Susanne Baldermann. Impact of Cultivar Selection and Thermal Processing by Air Drying, Air Frying, and Deep Frying on the Carotenoid Content and Stability and Antioxidant Capacity in Carrots (Daucus carota L.)// Journal of Agricultural and Food Chemistry. - 2022. - Vol.70(5). - P.1629-1639. DOI 10.1021/acs.jafc.1c05718.

Сведения об авторах

Абдулдаева А. А.- к.м.н., профессор, директор НИИ профилактической медицины имени академика Е.Д.Даленова, НАО «Медицинский университет Астана», Астана, Казахстан, e-mail: abduldayeva.a@amu.kz;

Тарджибаева С. К. - к.м.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории диагностики здоровья НИИ профилактической медицины им. академика Е.Д.Даленова, НАО «Медицинский университет Астана», Астана, Казахстан, e-mail:tardzhibaeva.s@amu.kz;

Досжанова Г. Н.- PhD, главный научный сотрудник НИИ профилактической медицины имени академика Е.Д.Даленова, НАО «Медицинский университет Астана», Астана, Казахстан, e-mail: doszhanova.g@amu.kz;

Муханбетова Н. А. - магистр химии, научный сотрудник НИИ профилактической медицины им. академика Е.Д. Даленова, НАО «Медицинский университет Астана», докторант 2 курса специальность НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан, e-mail: mukhanbetova.n@amu.kz;

Кожамкулов О. М. - магистрант НИИ профилактической медицины им. академика Е.Д.Даленова, НАО «Медицинский университет Астана», Астана, Казахстан, e-mail: olzhas1919@mail.ru.

Information about the authors

Abduldayeva A. - Candidate of Medical Sciences, Professor, Director of the Research Institute of Preventive Medicine named after Academician E.D.Dalenov, ”Astana Medical University”,Astans, Kazakhstan, e-mail: abduldayeva.a@amu.kz;

Tarjibaeva S. - Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Research Institute of Preventive Medicine named after Academician E.D.Dalenov, ”Astana Medical University”, Astana, Kazakhstan, e-mail: tardzhibaeva.s@amu.kz;

Doszhanova G.-PhD, Chief Researcher of the Research Institute of Preventive Medicine named after Academician E.D.Dalenov, ”Astana Medical University”,Astana, Kazakhstan, e-mail: doszhanova.g@amu.kz;

Mukhanbetova N.- Master of Chemistry, Research Assistant of the Research Institute of Preventive Medicine named after Academician E.D.Dalenov, ”Astana Medical University”, 2nd year PhD student ”S.Seifullin Kazakh agrotechnical research university”, Astana, Kazakhstan, e-mail mukhanbetova.n@amu.kz;

Kozhamkulov O.- Master’s student at the Research Institute of Preventive Medicine named after Academician E.D.Dalenov, ”Astana Medical University”,Astana, Kazakhstan, e-mail: olzhas1919@mail.ru.

МРНТИ 65.29.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1096**

КРУПООБРАЗОВАНИЕ И РЕЖИМЫ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПРИ СОРТОВОМ ПОМОЛЕ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ КАЗАХСТАНСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, М.А. Якияева✉, Р.Б. Мухтарханова, Н.Б. Батырбаева, А.Е. Әбітбек

Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

✉*Корреспондент-автор: yamadina88@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования формирования крупнодунстовых продуктов при измельчении зерна тритикале сортов казахстанской селекции. Определены физико-химические характеристики зерна сортов «Таза», «Азиада» и «Кожа», различающихся по степени стекловидности (62 %, 54 % и 38 % соответственно). Установлено, что стекловидность оказывает значительное влияние на формирование крупнодунстовых продуктов на I–III драных системах. Выявлены корреляционные зависимости между показателями крупообразования и исследуемыми факторами: отрицательная связь между зазором между валками и извлечением (r = –0,92), положительная зависимость между стекловидностью и зольностью промежуточных продуктов (r = 0,85), а также выраженная нелинейность в изменении зольности при варьировании зазора. Определены ориентировочные режимы измельчения для I, II и драных систем, обеспечивающие оптимальное соотношение между выходом и зольностью промежуточных продуктов. Установлено, что сорт «Таза» с высокой стекловидностью демонстрирует наибольшее извлечение при допустимом уровне зольности, в то время как сорт «Кожа» характеризуется стабильностью показателей при менее интенсивном разрушении зерна.

Ключевые слова: тритикале, крупка, зольность, извлечение, зазор между валками, режим измельчения, крупообразования, промежуточные продукты.

ҚАЗАҚСТАН СЕЛЕКЦИЯСЫНЫҢ ТРИТИКАЛЕ ДӘНІН СОРТТЫ ҰНТАҚТАУ КЕЗІНДЕ ДӘНДІ ЖӘНЕ ҰНТАҚТАУ РЕЖИМДЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, М.А. Якияева✉, Р.Б. Мухтарханова, Н.Б. Батырбаева, А.Е. Абитбек

Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан,
e-mail: yamadina88@mail.ru

Мақалада қазақстандық селекциядағы тритикале дәнін ұнтақтау барысында жармашықтар мен дунсттардың түзілу ерекшеліктері зерттелген. Шынылығы әртүрлі «Таза», «Азиада» және «Кожа» сорттарының (тиісінше 62 %, 54 % және 38 %) дәндерінің физика-химиялық қасиеттері анықталды. Дәннің шынылығы I–III жармалау жүйелерінде жармашықтар мен дунсттардың түзілуіне айтарлықтай әсер ететіні дәлелденді. Жармашықталу көрсеткіштері мен зерттелетін факторлар арасындағы корреляциялық байланыстар анықталды: біліктер арасындағы алшақтық пен алыным арасындағы күшті теріс байланыс (r = –0,92), шынылығы мен аралық өнімдердің күлділігі арасындағы оң байланыс (r = 0,85), сондай-ақ алшақтық өзгергенде күлділіктің бейсызық сипаты. Жармашықтар мен дунст өнімдерінің шығымы мен күлділігі арасындағы оңтайлы арақатынасты қамтамасыз ететін I, II және III жармалау жүйелерінің ұнтақтау режимдері анықталды. Жоғары шынылығы бар «Таза» сорты ең жоғары алыным көрсетсе, «Кожа» сорты дән құрылымының азырақ бұзылуы жағдайында көрсеткіштердің тұрақтылығымен ерекшеленді.

Түйін сөздер: тритикале, жарма, күлділік, экстракция, шығыршықтар арасындағы саңылау, ұнтақтау режимі, жарма қалыптастыру, аралық өнімдер.

FORMATION OF GRAIN AND GRINDING MODES DURING VARIETAL GRINDING OF TRITICALE GRAIN OF KAZAKHSTAN SELECTION

N. Ongarbayeva, A.I. Iztayev, M.A. Yakiyayeva✉, R.B. Mukhtarkhanova, N.B. Batyrbayeva, A.E. Abitbek

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: yamadina88@mail.ru

The article presents the results of a study on the formation of coarse-dunst products during the milling of triticale grain from Kazakhstani varieties. The physical and chemical properties of the grain of the varieties ’ Taza’, ’ Aziada’, and ’ Kozha’, differing in vitreousness (62%, 54%, and 38%, respectively), were determined. It was established that vitreousness has a significant impact on the formation of coarse-dunst products on the I–III break systems. Correlation relationships were identified between the parameters of granulation and the studied factors: a strong negative correlation between roll gap and extraction (r = –0.92), a positive correlation between vitreousness and the ash content of intermediate products (r = 0.85), and a pronounced non-linear trend in ash variation with changing gap. Approximate grinding regimes for the I, II, and III break systems were determined, ensuring an optimal balance between yield and ash content of intermediate products. The ‘Taza’ variety with high vitreousness demonstrated the highest extraction at an acceptable ash level, while the ‘Kozha’ variety was characterized by stable performance under milder grain disintegration conditions.

Keywords: triticale, semolina, ash content, extraction, gap between rollers, grinding mode, semolina formation, intermediate products.

Введение. Тритикале (×Triticosecale Wittmack) - гибрид пшеницы и ржи, обладающий высокой урожайностью, устойчивостью к неблагоприятным условиям среды и ценными хлебопекарными свойствами. В последние годы в Казахстане наблюдается рост интереса к этой культуре, особенно в южных регионах страны, где активно ведётся селекция и районирование новых сортов [1, 2]. Несмотря на агрономические преимущества тритикале, его помол представляет определённые технологические трудности, обусловленные особенностями морфологической структуры зерна, варьирующейся в зависимости от сорта и степени стекловидности эндосперма. Эти факторы существенно влияют на процесс крупообразования, выход муки и её качественные характеристики [3, 4].

В условиях современного хлебопекарного производства особое значение приобретают параметры помола, такие как выход продуктов, зольность и эффективность извлечения муки. Оптимизация режимов измельчения с учётом сортовых особенностей тритикале позволяет повысить качество готовой продукции и рационально использовать сырьевые ресурсы [5, 6].

Настоящее исследование направлено на анализ количественных и качественных характеристик продуктов помола зерна тритикале казахстанской селекции на первых трёх драных системах. Особое внимание уделяется установлению рациональных режимов измельчения, обеспечивающих получение муки с заданными хлебопекарными свойствами [7, 8].

Развитие зернового производства в Казахстане требует эффективного использования новых культур, обладающих высокой продуктивностью и адаптацией к местным условиям. Тритикале, как гибрид пшеницы и ржи, является перспективной культурой для продовольственного и кормового использования [9, 10]. Однако технологические аспекты его помола, особенно сортов казахстанской селекции, изучены недостаточно. Учитывая технологические особенности зерна тритикале и вариации в степени его стекловидности, возникает необходимость в разработке научно обоснованных режимов измельчения, обеспечивающих высокое качество муки и стабильные технологические показатели. Это особенно важно для расширения использования тритикале в хлебопекарной промышленности [11, 12].

Цель исследования. Установление рациональных режимов измельчения зерна тритикале казахстанской селекции на первых I–III драных системах с целью получения муки с заданными хлебопекарными свойствами и высоким выходом.

Задачи исследования. Определить физико-

химические характеристики зерна тритикале различных сортов казахстанской селекции.

- Изучить особенности крупообразования на начальных стадиях сортового помола (I…III драные системы).

- Определить зависимость помольных параметров (извлечения, зольности, эффективности) от сорта, степени стекловидности зерна и

зазора между валками.

- Установить оптимальные режимы измельчения зерна тритикале казахстанских сортов на I, II и III драных системах.

Исследование ограничено начальными стадиями сортового помола (I–III драные системы), так как именно на этом этапе формируются основные круподунстовые продукты, определяющие эффективность последующего размола и качество конечной муки. Приоритетная задача работы заключалась в установлении закономерностей крупообразования и подборе оптимальных режимов измельчения на головных драных системах. Анализ дальнейших этапов переработки будет предметом последующих исследований.

Научная новизна. Впервые проведён комплексный анализ формирования промежуточных продуктов на начальных стадиях помола зерна тритикале казахстанской селекции. Установлены корреляционные зависимости между величиной зазора между валками, степенью стекловидности и показателями крупообразования. Определены ориентировочные режимы измельчения для I, II и III драных систем, обеспечивающие высокий выход крупок и дунстов при допустимом уровне зольности.

Практическая ценность. Заключается в возможности корректировки режимов работы вальцовых систем с учётом свойств зерна, что обеспечивает стабильность выхода и зольности промежуточных продуктов. Полученные рекомендации могут быть внедрены на мукомольных предприятиях для повышения эффективности сортового помола и качества готовой муки.

Материалы и методы. Объектом исследования являлось зерно тритикале (×Triticosecale Wittmack) сортов казахстанской селекции – «Таза», «Азиада» и «Кожа», районированных для условий южных регионов Республики Казахстан. Сорта подбирались с учётом различий по степени стекловидности эндосперма: «Таза» – 62 %, «Азиада» – 54 %, «Кожа» – 38 %. Исходная влажность всех образцов составляла 14,0 %. Предметом исследования являлся процесс крупообразования на начальных этапах сортового помола, с фокусом на формирование крупнодунстовых фракций при прохождении зерна через I–III драные системы вальцового измельчения.

Физико-химические свойства зерна тритикале определяли согласно действующим стандартам (ГОСТ 10846–91, 29033–91, 10845–98, 31675–2012, Р 54478–2011) с использованием приборов: диафаноскопа ДСЗ-3, сепаратора Quatuor 2, анализатора влажности Agua, ИК-анализатора INFRANEO и лабораторного рассева РЛ-1.

Плотность зерна устанавливали по ГОСТ 10840–2017 методом вытеснения толуолом. Расчёт проводили по формуле:

$$X = \left[\frac{y}{Q + y - P}\right] \times \rho$$

где y — масса зерна,

Q — масса бюретки с толуолом,

P — масса бюретки с зерном и толуолом,

ρ — плотность толуола.

Средний объём зерновки определяли по методу жидкостного вытеснения как частное от объёма вытесненной жидкости и количества зёрен в навеске:

$$V = \frac{V_1}{N}$$

где V_1 — объём вытесненной жидкости, N — число зёрен.

Выравненность и крупность зерна устанавливали ситовым методом, используя сита с продолговатыми отверстиями размером от 3,0×20 мм до 1,4×20 мм. Выравненность оценивали по наибольшей массе зерна, удержавшегося на двух соседних ситах (2,8×20 мм и 2,5×20 мм), в процентах к общей массе навески.

Химический состав зерна тритикале (белок, клейковина с ИДК, крахмал, сахар, клетчатка, жир, зола в пересчёте на сухое вещество) определяли методом ИК-спектроскопии с использованием анализатора INFRANEO. Применение прибора обеспечивало точность, воспроизводимость и оперативность комплексной оценки качественных показателей, исследуемых сортообразцов.

Перед помолом зерно каждого сорта увлажнялось до заданного уровня, соответствующего его стекловидности: для сорта «Таза» - до 16,0 %, для «Азиада» - до 15,5 %, для «Кожа» - до 14,5 %. Процедуру проводили при исходной влажности зерна 14,0 % в лабораторных условиях с последующим холодным кондиционированием в течение 4,5...9 часов. Исследование проводилось на трёх последовательных драных системах лабораторной вальцовой установки. Для каждой системы был установлен диапазон зазоров между валками: от 0,8 до 0,2 мм. Измельчённые продукты разделялись на фракции: крупка (крупная, средняя и мелкая), дунст и мука. Каждая фракция оценивалась по количественным (выход, %) и качественным (зольность, %) показателям.

Для обеспечения достоверности и воспроизводимости результатов все экспериментальные данные были получены с трёхкратной повторностью (n = 3). Обработка выполнялась с использованием общепринятых методов вариационной статистики.

1. Среднее арифметическое значение (M) определялось по формуле:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{n-1}^{n} x_i$$

где n – число повторов эксперимента (в настоящей работе n=3);

x_i – значение показателя в i-м повторе.

2. Стандартное отклонение (SD) рассчитывалось по формуле:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - M)^2}{n-1}}$$

где M – среднее арифметическое значение показателя.

3. Доверительный интервал (95 % CI) вычислялся как:

$$CI_{95} = M \pm t \cdot \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

где t – табличное значение критерия Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$.

Полученные обобщённые усреднённые значения и доверительные интервалы представлены в таблицах и графических материалах статьи. Промежуточные расчёты и полный массив исходных данных не включены в основной текст из-за ограничения объёма публикации.

Результаты и обсуждение. Крупообразование является критически важной стадией сортового помола, обеспечивающей формирование основного объёма промежуточных фракций с заданными технологическими характеристиками. Устойчивость выхода и качества крупнодунстовых продуктов напрямую влияет на эффективность последующего размола. Нарушения в этом процессе ведут к дестабилизации технологической цепи и снижению общей эффективности переработки зерна. Крупообразующая способность тритикале обусловлена физико-химическими свойствами зерна, в том числе степенью стекловидности, которая при исходной влажности 14,0 % варьировалась у исследуемых сортов. Этот показатель отражает прочность эндосперма и предопределяет особенности разрушения зерновки, а также количественный и качественный состав фракций, образующихся на первых трёх драных системах.

Крупообразующая способность зерна определяется совокупностью его физико-химических свойств, включая степень стекловидности определяющие структурно-механические свойства эндосперма. Эти характеристики предопределяют поведение зерна в процессе измельчения и

формирование промежуточных продуктов - крупок и дунстов-на первых трёх драных системах.

Для оценки технологических свойств, исследуемых сортообразцов тритикале проведён анализ исходных показателей качества зерна. Результаты представлены в табл.1.

Таблица 1 - Показатели физико-химических свойств зерна тритикале различных сортов

Показатель	№1	№2	№3
Физические свойства			
Масса 1000 зерен, г	37,8	35,6	35,4
Натура, г/л	629	612	614
Общая стекловидность, %	62	54	38
Выравненность, %	80,2	69,9	65,3
Крупность, % (сход сита 2,5×20)	97,0	75,1	68,4
Проход 2,0×20/ сход 1,8×20, %	0,5	0,4	0,4
Плотность, г/см³	1,21	1,20	1,09
Объем зерновки, мм³	32,2	32,6	31,9
Химические свойства (содержание, % на СВ)			
Клейковина, % /ИДК	26,6/85	21,1/84	16,4/95
Белок	14,5	12,5	12,2
Крахмал	54,0	55,0	53,7
Сахаров	5,0	4,8	4,2
Клетчатка	8,8	9,8	9,0
Жир	4,4	7,7	5,7
Зола	2, 02	2,01	2,09

Примечание: № 1 - образец сорта Таза; № 2 - образец сорта Азиада; № 3 - образец сорта Кожа

В исследовании использовались свежие опытные образцы тритикале казахстанской селекции, предварительно подготовленные по режимам, установленным в предыдущих наших исследованиях. Характеристика исходного зерна включала ряд физико-химических показателей (стекловидность, масса 1000 зёрен, натура, зольность, содержание белка, клейковины и др.), определяющих его поведение в процессе крупообразования. Условия хранения и влияние урожайного года в данной работе не рассматривались и могут стать предметом дальнейшего анализа.

В таблице 1 представлены физико-химические показатели трёх сортов тритикале казахстанской селекции – «Таза», «Азиада» и «Кожа», отобранных для исследования. Все образцы имели исходную влажность 14,0 %. Наиболее существенные различия между сортами зафиксированы по степени стекловидности: у сорта «Таза» – 62 %, «Азиада» – 54 %, «Кожа» – 38 %, что предопределяет характер измельчения зерна на драных системах.

Сорт «Таза» отличался высокой выравненностью (80,2 %) и максимальной долей крупной

фракции (97,0 %), что указывает на хорошую выполненность и структурную целостность зерновки. Он также характеризовался наибольшей плотностью (1,21 г/см³) и содержанием белка (14,5 %) и клейковины (26,6 % при ИДК 85), что определяет его высокую технологическую и хлебопекарную ценность. У сорта «Азиада» отмечена средняя стекловидность и наивысшее содержание крахмала (55,0 %), а также наиболее низкая зольность (2,01 %), что благоприятно влияет на выход и качество муки.

Сорт «Кожа» имел наименьшую стекловидность, плотность и уровень белка, что может ограничивать его эффективность при интенсивном измельчении, однако содержание жира (7,7 %) и клетчатки (9,0 %) указывает на потенциал в производстве функциональных продуктов. Выявленные различия в исходных свойствах зерна обусловили необходимость исследования его крупообразующей способности на первых трех I, II и III драных системах измельчения.

Сравнительный анализ в настоящем исследовании проводился между тремя сортами тритикале, с целью установления влияния стекловидности и зазора между валками на выход и качество круподунстовых продуктов. Сравнение с пшеницей как стандартом, безусловно, представляет научный интерес и планируется к включению в будущие работы, посвящённые сравнительной переработке и хлебопекарной оценке тритикале.

Таблица 2 – Количественная и качественная характеристика продуктов помола зерна тритикале на I ...III драных системах

Зазор между валками, мм	Выход /зольность, %				Общее извлечение, %	Средневзвешенная зольность, %	Эффективность помола
	Крупка		Дунст/ зольность	Мука/ зольность			
	крупная/ зольность	(сред.+ мелк.)/ зольность					
1	2	3	4	5	6	7	8
Сорт Таза							
0,8...0,6	7,5 / 1,28	7,5 / 1,20	4,7 / 0,86	5,5 / 0,85	25,2	1,08	30,0
0,5...0,4	10,5 / 1,20	12,0 / 1,08	6,7 / 0,67	7,8 / 0,69	37,0	0,90	45,0
0,3...0,2	13,5/ 1,60	16,5 / 1,55	9,0 / 0,95	11,5 / 0,85	50,5	1,20	60,0
Сорт Азиада							
0,8...0,6	6,5 / 1,30	7,0 / 1,25	4,0 / 0,88	5,0 / 0,87	22,5	1,10	27,5
0,5...0,4	8,0 / 1,18	12,0 / 1,10	6,0 / 0,70	7,0 / 0,72	33,0	0,93	40,0
0,3...0,2	11,0 / 1,65	16,5 / 1,55	8,5 / 0,98	10,0 / 0,88	46,0	1,17	55,0
Сорт Кожа							
0,8...0,6	5,5 / 1,35	6,5 / 1,25	3,5 / 0,90	4,5 / 0,89	20,0	1,12	24,5
0,5...0,4	7,0 / 1,22	11,0 / 1,15	5,5 / 0,72	6,5 / 0,74	30,0	0,95	36,5
0,3...0,2	9,5 / 1,70	15,5 / 1,60	8,0 / 1,00	9,0 / 0,90	42,0	1,25	50,0

В таблице 2 представлены количественные и качественные показатели продуктов помола сортообразцов тритикале («Таза», «Азиада» и «Кожа»), полученные в результате измельчения на

I–III драных системах при различных величинах зазора между валками.

Результаты помола зерна тритикале на I-III драных системах демонстрируют четкую зависимость технологических показателей от величины зазора между валками и сортовых особенностей сырья. Уменьшение зазора с 0,8-0,6 мм до 0,3-0,2 мм последовательно увеличивает общее извлечение: для сорта Таза с 25,2% до 50,5%, Азиада с 22,5% до 46,0%, Кожа с 20,0% до 42,0%. Качественные параметры показывают нелинейную динамику - минимальная зольность (0,90-0,95%) фиксируется при промежуточном зазоре 0,5-0,4 мм, тогда как эффективность помола монотонно возрастает при уменьшении зазора для всех сортов (Таза: 30.0→60.0, Азиада: 27.5→55.0, Кожа: 24.5→50.0). Сортовая дифференциация проявляется в стабильном лидерстве сорт Таза по выходу продукции (макс.50,5%) и отставании Кожи (макс. 42,0%) во всех величинах зазора между валками. Оптимальный баланс технологических и качественных показателей достигается при зазоре 0,5-0,4 мм, обеспечивающем извлечение 30,0-37,0% при зольности 0,90-0,95%. Полученные данные подтверждают необходимость индивидуального подбора параметров помола с учетом как конструктивных особенностей оборудования, так и физико-химических характеристик перерабатываемого зерна. Как видно из таблицы 2, уменьшение зазора между валками приводит к росту извлечения и изменению зольности.

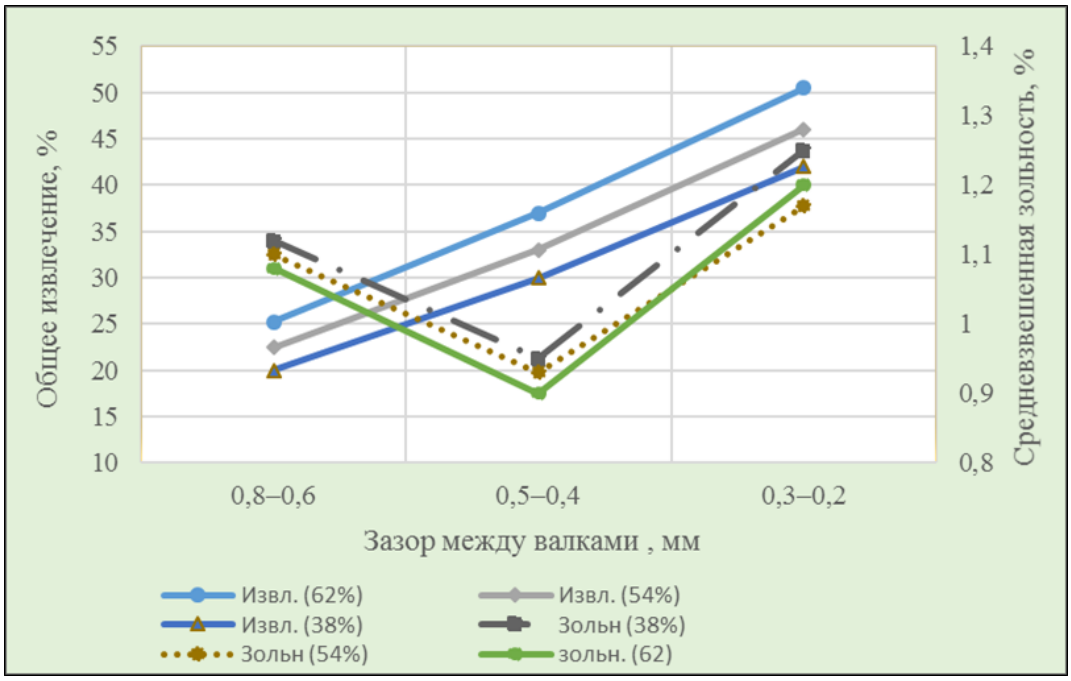


Рис.1 - Извлечение и зольность продуктов помола в зависимости от зазора между валками для сортов тритикале

Оценка качества промежуточных продуктов (крупок и дунстов) в данной работе основывается на показателях зольности и выхода, поскольку именно они являются основными технологическими критериями при классификации продуктов на первой стадии сортового помола. Хлебопекарные свойства относятся к характеристикам конечной муки и не входили в рамки поставленных задач. Их изучение запланировано на следующем этапе комплексного исследования.

Для наглядного представления этих зависимостей на рисунке 1 отображена динамика ключевых параметров в зависимости от зазора и сортовых особенностей тритикале.

Рисунок 1 иллюстрирует зависимость извле-

чения и средневзвешенной зольности промежуточных продуктов, формирующихся на I–III драных системах при измельчении зерна тритикале, от величины зазора между валками. При этом учитываются различия в степени стекловидности зерна (62 %, 54 % и 38 %), соответствующие сортам «Таза», «Азиада» и «Кожа».

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показал, что с уменьшением зазора между валками наблюдается отчётливый рост общего извлечения круподунстовых продуктов.

Согласно результатам корреляционного анализа, между величиной зазора и извлечением установлена сильная обратная связь (r = –0,92; p <0,01), тогда как степень стекловидности положительно коррелирует с зольностью промежуточных продуктов (r = 0,85; p <0,01). Регрессионное моделирование позволило вывести уравнения прогнозирования.

Регрессионная модель для общего извлечения имеет следующий вид:

$Y_{\text{извл}} = 28.4 + 15.7 \cdot X_1 - 12.3 \cdot X_2,\ R^2 = 0.89$

где $Y_{\text{извл}}$ — общее извлечение промежуточных продуктов, %

X_1 — степень стекловидности зерна, выраженная в долях (например, 0.62)

X_2 — величина зазора между валками, мм

$R^2 = 0.89$ — коэффициент детерминации, характеризующий высокую степень соответствия модели

Для оценки взаимосвязей между переменными построены регрессионные модели:

$Y_{\text{извл}} = 28,4 + 15,7 \cdot X_1 - 12,3 \cdot X_2,\ R^2 = 0,89$ (для общего извлечения);

$Y_{\text{зольн}} = 0,68 + 0,011 \cdot X_1 + 0,25 \cdot X_2,\ R^2 = 0,83$ (для средневзвешенной зольности),

где X_1 — степень стекловидности зерна (в долях), X_2 — величина зазора между валками, мм.

Для средневзвешенной зольности получено следующее уравнение:

$Y_{\text{зольн}} = 0,68 + 0,011 \cdot X_1 + 0,25 \cdot X_2,\ R^2 = 0,83$

где $Y_{\text{зольн}}$ — средневзвешенная зольность, %,

X_1 и X_2 — те же, что и выше;

$R^2 = 0,83$ — высокая степень согласованности модели с экспериментальными данными.

Максимальные значения извлечения (52–54 %) зафиксированы при минимальных зазорах (0,3-0,2 мм) у сортов с высокой стекловидностью (62 %). Вместе с тем наилучшее сочетание производительности (45–48 %) и качества продуктов (зольность 0,9-1,1 %) достигалось при зазоре 0,5–0,4 мм. Зерно с низкой стекловидностью (38 %) характеризовалось минимальной вариабельностью зольности при варьировании условий измельчения (CV = 5,2 %), что указывает на его стабильное технологическое поведение.

Для установления ориентировочных режимов измельчения зерна тритикале казахстанских сортов «Таза», «Азиада» и «Кожа» с различными физико-химическими характеристиками помол проводили на лабораторном вальцовом станке с измельчением на I, II и III драных системах. Влажность зерна перед подачей на I драную систему регулировали с учётом степени стекловидности: для сорта «Таза» (62 %) - 16,0 %, «Азиада» (54 %) - 15,5 %, «Кожа» (38 %) - 14,5 %.

Анализ результатов I драной системы выявил статистически значимые зависимости: отрицательную корреляцию между зазором и извлечением (r = –0,92; p <0,01) и положительную между стекловидностью и зольностью промежуточных продуктов (r = 0,85; p <0,01). Построены регрессионные модели:

$Y_{\text{извл}} = 28,4 + 15,7 \cdot X_1 - 12,3 \cdot X_2,\ R^2 = 0,89$

$Y_{\text{зол}} = 0,68 + 0,011 \cdot X_1 + 0,25 \cdot X_2,\ R^2 = 0,83$

где X_1 — степень стекловидности (в долях единицы), X_2 — зазор между валками, мм.

Сорт «Таза» обеспечил извлечение 32,4 % при зольности 0,98 %, «Азиада» - 30,9 % (0,98 %), «Кожа» - 29,3 % (1,03 %). При зазоре 0,5-0,4 мм достигался выход 30-33 % и зольность 0,95-1,05 %. На этой основе установлен ориентировочный режим измельчения зерна тритикале на I драной системе обеспечивает извлечение промежуточных продуктов в пределах 30-33 %

при уровне зольности 0,95-1,05 %. Стандартная ошибка прогноза составляет ±0,5 % по извлечению и ±0,08 % по зольности.

Анализ результатов помола на II драной системе позволил установить дополнительные зависимости, характеризующие влияние степени стекловидности зерна и величины зазора между валками на извлечение и зольность промежуточных продуктов. Средние показатели извлечения составили: для сорта «Таза» (62 %) - 43,4 %, «Азиада» (54 %) - 44,3 %, «Кожа» (38 %) - 41,7 %. Минимальные значения зольности зарегистрированы у сорта «Азиада» - 1,05 %, максимальные - у сорта «Кожа» - 1,09 %. У сорта «Таза» при минимальном зазоре (0,2 мм) достигнуто наибольшее извлечение - 62,5 %.

Корреляционный анализ подтвердил наличие выраженной обратной зависимости между величиной зазора и извлечением (r = –0,89; p <0,01), а также положительной связи между стекловидностью и выходом (r = 0,82; p <0,01). Зольность демонстрировала U-образную зависимость от зазора, с наименьшими значениями при 0,5-0,4 мм. Регрессионные модели для II драной системы имеют следующий вид:

$$Y_{\text{извл}} = 35,2 + 0,25 \cdot X_1 - 18,7 \cdot X_2,\ R^2 = 0,87$$

$$Y_{\text{зол}} = 0,72 + 0,008 \cdot X_1 + 0,31 \cdot X_2,\ R^2 = 0,81$$

где X_1 — степень стекловидности (в долях единицы), X_2 — зазор между валками, мм.

Оптимальный диапазон регулирования зазора между валками на II драной системе составляет 0,4-0,3 мм, при котором обеспечивается извлечение в пределах 42-45 % и зольность 1,05-1,15 %. На этом основании ориентировочный режим измельчения для данной системы определён в указанном интервале.

Сравнительно с I системой зафиксирован прирост извлечения на 11,3 п.п. у сорта «Таза», снижение зольности на 0,07 п.п. у сорта «Азиада», а также общее повышение эффективности измельчения на 18–22 %.

Анализ результатов помола на III драной системе позволил выявить характерные зависимости извлечения и зольности промежуточных продуктов от величины зазора между валками и физико-химических свойств зерна. Среднее извлечение составило: для сорта «Таза» (62 %) - 39,5 %, «Азиада» (54 %) - 39,0 %, «Кожа» (38 %) – 39,3 %. Минимальные значения зольности отмечены у сорта «Азиада» – 1,25 %, максимальные – у сорта «Таза» – 1,34 %. Наибольшее извлечение - 55,9 % – зафиксировано у сорта «Таза» при минимальном зазоре (0,1 мм). Корреляционный анализ показал сильную положительную связь между уменьшением зазора и ростом извлечения (r = 0,91; p <0,01), а также параболическую зависимость зольности от величины зазора, с минимальными значениями при 0,3–0,2 мм. Стекловидность зерна демонстрировала обратную зависимость от качества продукта, выраженную через зольность (r = –0,76; p <0,01).

Построенные регрессионные модели для III драной системы представлены уравнениями:

$$Y_{\text{извл}} = 28,1 + 0,18 \cdot X_1 - 15,2 \cdot X_2 + 0,09 \cdot X_2^2,\ R^2 = 0,85$$

$$Y_{\text{зол}} = 0,85 + 0,012 \cdot X_1 + 0,42 \cdot X_2 - 0,11 \cdot X_2^2,\ R^2 = 0,83$$

где X_1 — степень стекловидности (в долях единицы), X_2 — зазор между валками, мм.

Оптимальный режим измельчения на III драной системе установлен при зазоре 0,3-0,2 мм, при котором достигается извлечение 38-42 % и уровень зольности в пределах 1,25-1,30 %. У сорта «Кожа» отмечена стабильность технологических показателей во всём исследованном диапазоне зазоров, в то время как для сорта «Таза» рекомендуется контроль процесса при зазорах менее 0,2 мм.

Сравнительно с II системой извлечение на III системе оказалось ниже в среднем на 4,5 п.п., а зольность – выше на 0,20–0,25 п.п. Совокупная эффективность измельчения снизилась на 15-18 %, что обусловлено исчерпанием потенциала крупообразования при глубоком разрушении структуры зерна.

На основании проведённого эксперимента установлены количественные и качественные характеристики промежуточных продуктов, формирующихся на I-III драных системах при помоле зерна тритикале сортов казахстанской

селекции.

Ориентировочный режим измельчения на I драной системе, обеспечивающий оптимальное соотношение между выходом и зольностью круподунстовых продуктов, установлен при зазоре 0,5-0,4 мм. В данных условиях достигается извлечение 30-33 % при зольности 0,95-1,05 %.

Для II драной системы оптимальный режим реализуется при зазоре 0,4-0,3 мм, при котором обеспечивается извлечение 42-45 % и зольность 1,05-1,15 %.

На III драной системе наилучшее соотношение параметров достигается при зазоре 0,3-0,2 мм, при этом извлечение составляет 38-42 %, а зольность - 1,25-1,30 %.

Следует отметить, что представленные графические и табличные материалы содержат обобщённые значения, на основе которых проведены статистические расчёты.

Таблица 3 - Сравнительный обзор зарубежных исследований по помолу зерна тритикале

Источник	Объект исследования	Основные результаты	Сопоставление с настоящей работы
Kandrokov et al., 2025	Помол тритикале и пшеницы при разной влажности	Выход муки из тритикале на 7-10 % ниже, чем у пшеницы	Подтверждает необходи-мость технологической оптимизации сортового помола тритикале
Dziki, 2025, (MDPI, Processes)	8 сортов зимнего тритикале, влияние урожайного года	Энергия измельчения от 14 до 17,8 кДж/кг; различия по сортам и химсоставу	Подтверждает влияние стекловидности и сортовых характеристик, учитываемое в настоящем исследовании
Kandrokov, 2021	Смеси пшеницы, тритикале и ржи (50:40:10)	Смеси дают лучшие показатели выхода и белизны муки, чем чистая пшеница	Подчёркивает потенциал тритикале при правильной сортовой переработке
Zuev et al., 2024	Современное состо-яние исследований по помолу тритикале в РФ	Отмечен дефицит комплексных работ по помольной технологии тритикале	Подчёркивает актуальность и новизну настоящего исследования

Примечание. *Таблица составлена на основе открытых источников. Полные библиографические ссылки приведены в списке литературы.*

Все экспериментальные данные получены с трёхкратной повторностью (n = 3). В таблицах и графических материалах представлены обобщённые результаты, рассчитанные как средние значения (M) с учётом доверительных интервалов (95 % CI). Статистическая обработка включала методы вариационного анализа (среднее, стандартное отклонение, доверительные интервалы). Подробные промежуточные расчёты в статье не приводятся из-за ограничения объёма; отражены только итоговые результаты, обладающие достаточной статистической обоснованностью и практической значимостью.

В зарубежных исследованиях отмечается, что

эффективность помола тритикале, как правило, ниже, чем у пшеницы [16]. Работа [17] Dziki показала влияние сортовых особенностей и урожайного года на энергоёмкость измельчения (14-17,8 кДж/кг) и состав продуктов. Кроме того, исследования смесей пшеницы, тритикале и ржи [18, 19] демонстрируют положительный эффект при правильной технологической настройке. Это подтверждает актуальность наших рекомендаций и подчёркивает вклад работы в развитие научных основ сортового помола тритикале. Сравнение с зарубежными данными представлено в таблице 3.

Выводы. В ходе проведённого исследования определены физико-химические характеристики зерна тритикале сортов казахстанской селекции «Таза», «Азиада» и «Кожа», различающихся по степени стекловидности. установлено, что степень стекловидности оказывает существенное влияние на формирование крупнодунстовых продуктов на первых трёх драных системах сортового помола. Выявлены статистически значимые зависимости между технологическими параметрами измельчения: между величиной зазора между валками и извлечением установлена сильная отрицательная корреляция (r = -0,92), между стекловидностью зерна и зольностью продуктов – положительная (r = 0,85). зольность изменялась по параболической зависимости от зазора с минимумом при 0,4-0,3 мм.

На основании полученных данных определены ориентировочные режимы измельчения, обеспечивающие оптимальное соотношение между выходом и зольностью круподунстовых продуктов:

- для I драной системы - 30 - 33 %;
- для II драной системы - 42 - 45 %;
- для III драной системы – 38 - 42 %.

Наибольшее извлечение при допустимом уровне зольности обеспечено у сорта «Таза» с высокой степенью стекловидности, в то время как сорт «Кожа» характеризовался более стабильными, но менее продуктивными показателями. Полученные результаты подтверждают целесообразность дифференцированного подхода к выбору режимов сортового помола в зависимости от исходных свойств зерна.

Полученные результаты имеют не только теоретическое, но и прикладное значение: они создают основу для промышленного внедрения оптимизированных режимов измельчения на первых стадиях сортового помола тритикале на мукомольных предприятиях. Установлено, что именно начальные драные системы определяют структуру круподунстовых продуктов и во многом предопределяют технологическую «логику» и эффективность последующих этапов размола. Практическое использование выявленных зависимостей позволит не только повысить эффективность переработки отечественного сырья и стабилизировать качество промежуточных продуктов, но и обеспечить устойчивое качество конечной муки, расширив её ассортимент и хлебопекарный потенциал. Экономическая оценка внедрения и производственная проверка эффективности технологических решений требуют проведения опытно-промышленных испытаний, которые запланированы в рамках последующих этапов работы. По завершении полного комплекса исследований планируется разработка нормативных материалов, в которые будут включены рекомендованные режимы измельчения.

Финансирование. *Исследование проведено в рамках научно-технической программы Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан № BR22886613 «Разработка инновационных технологий по переработке и хранению сельскохозяйственной растениеводческой продукции и сырья» (проект №9-2024/2026 «Разработка инновационной технологии хранения и переработки различных сортов тритикале в высокоэффективную продукцию зерноперерабатывающей отрасли»).*

Литература

1. Kandrokov R.K. Technological Properties of Wheat-Triticale-Rye Flour. // Biomedical Journal of Scien-

tific & Technical Research. - 2021. -Vol.39(3).-P.31372-31378. DOI 10.26717/bjstr.2021.39.006305

2. Жанабаева К.К., Онгарбаева Н., Рукшан Л.В., Ерошенко Я.И. Крупообразующая способность зерна тритикале казахстанской селекции // Механика и технологии. - 2018. - № 3. - С.105-110. URL:

3. Kandrokov R., Pankratov G., Meleshkina E., Vitol I., Tulyakov D. Effective technological scheme for processing triticale (Triticosecale L.) grain into graded flour. // Foods and Raw Materials. - 2019. -Vol.7(1) - P.107-117. DOI 10.21603/2308-4057-2019-1-107-117.

4. Чумаченко Ю.Д., Жигунов Д.А. Исследование процесса крупообразования при помолах тритикале.//Зерновые продукты и комбикорма - 2015.- №1 (57). DOI 10.15673/2313-478x.57/2015.39745.

5. Pattison A. L., Trethowan R. M. Characteristics of modern triticale quality: commercially significant flour traits and cookie quality//Crop and Pasture Science.-2013.- Vol.64(9).-P.874-880. DOI 10.1071/cp13056.

6. Zhanabayeva K.K., Zhamalova D., Ruchkina G., Chernyavskaya O., Ongarbayeva N. Biochemical characteristics of triticale flour formed from separate fractions on grinding grain of Kazakhstan selection // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems.- 2020.-Vol.12(6). - P.709-711. DOI 10.5373/JARDCS/V12I6/S20201084.

7. Жанабаева К.К., Онгарбаева Н., Рукшан Л.В. Исследование гранулометрического состава и качества муки из тритикале казахстанской селекции //Вестник МГУП.- 2018.- № 2(25) - С.65-70. URL https://scholar.google.com/citations?user=zqdwTvQAAAAJ&hl=en

8. Онгарбаева Н.О., Батырбаева Н.Б. Сапа менеджменті негізінде астық өндеу өндірістерінің технохимиялық бақылауы: Практикум.-Алматы, АТУ, 2014. -105 б. ISBN 978-601-263-240-8

9. Бадамшина Е.И., Гареева И.Т., Леонова С.А., Кощина Е.И. Влияние тритикалевой муки отрубей на показатели качества хлебных палочек// Вестник КрасГАУ.-2023.--№ 1ю-С.298-304. DOI 10.36718/1819-4036-2023-11-298-304.

10. Korzhenivska A., Danylenko S. Study of technological properties of rye and wheat flour. Human and Nation’s Health. - 2024. - Vol.2024(2). – P.17-24. DOI 10.31548/humanhealth.2.2024.16.

11. Martinek P., Vinterová M., Burešová I., Vyhnánek T. Agronomic and quality characteristics of triticale (X Triticosecale Wittmack) with HMW glutenin subunits 5+10. // Journal of Cereal Science. - 2008.- Vol.47(1). - P.68-78. DOI 10.1016/j.jcs.2007.02.003

12. Tian X., Wang X., Wang Z., Sun B., Wang F., Ma S., Gu Y., Qian X. Particle size distribution control during wheat milling: nutritional quality and functional basis of flour products-a comprehensive review // International Journal of Food Science & Technology.- 2022. -Vol.58(1). - P.7556-7572. DOI 10.1111/ijfs.16120.

13. Kaszuba J., Woś H., Shchipak G. V. Bread making quality parameters of some Ukrainian and Polish triticale cultivars. // Euphytica. - 2024. - Vol.220(2). - P.2-15. DOI 10.1007/s10681-023-03272-4.

14. Kaszuba J., Czyż M., Cebulak T., Pycia K. Assessment of the Suitability of Flour Obtained from Mountain Rye Grain Milling and the Method of Dough Fermentation for the Production of Rye Bread. // Foods. - 2024. -Vol.13(19):3035. DOI 10.3390/foods13193035.

15. Jańczak-Pieniążek M., Kaszuba J. The Influence of Agrotechnical Factors on the Yield and Quality Parameters of Winter Triticale Grain. // Agriculture. - 2024. - Vol.14(12): 2219. DOI 10.3390/agriculture14122219.

16. Кандроков Р.Х.,Катин С.А., Сивцев А.О.,Верьемьев Д.Н., Пестова Е.В. Использование цельномоловой пшенично-тритикалевой муки для производсва хлебобулочных изделийю—// Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.- 2025.-Vol.17(1).-518-542 DOI 10.12731/2658-6649-2025-17-

1-1084.

17. Dziki D. Special Issue on “10th Anniversary of Processes: Recent Advances in Food Processing Processes.” Processes. - 2025. - Vol. 13(8):2525. DOI 10.3390/pr13082525.

18. Kandrokov R. K. Technological Properties of Wheat-Triticale-Rye Flour. // Biomedical Journal of Scientific & Technical Research.-2021.-Vol.39(3).-P.31372- 31378. DOI 10.26717/bjstr.2021.39.006305.

19. Зуев Е.В., Лебедева Т.В., Тырышкин Л.Г. Ювенильная устойчивость районированных в Российской Федерации и перспективных сортов тритикале к грибным листовым болезням//Аграрная наука Востока.-2024.- № 25(6). – С.1000-1008. DOI 10.30766/2072-9081.2024.25.6.1000-1008.

References

1. Kandrokov R.K. Technological Properties of Wheat-Triticale-Rye Flour. // Biomedical Journal of Scientific & Technical Research. - 2021. -Vol.39(3).-P.31372-31378. DOI 10.26717/bjstr.2021.39.006305

2. Zhanabaeva K.K., Ongarbaeva N., Rukshan L.V., Eroshenko Ja.I. Krupoobrazujushhaja sposobnost’ zerna tritikale kazahstanskoj selekcii // Mehanika i tehnologii. - 2018. - № 3. - S. 105-110. URL: http://journals.dulaty.kz. [in Russian]

3. Kandrokov R., Pankratov G., Meleshkina E., Vitol I., Tulyakov D. Effective technological scheme for processing triticale (Triticosecale L.) grain into graded flour. // Foods and Raw Materials. - 2019. -Vol.7(1) - P.107-117. DOI 10.21603/2308-4057-2019-1-107-117.

4. Chumachenko Ju.D., Zhigunov D.A. Issledovanie processa krupoobrazovanija pri pomolah tritikale. Zernovye produkty i kombikorma - 2015.- №1 (57). DOI 10.15673/2313-478x.57/2015.39745. [in Russian]

5. Pattison A. L., Trethowan R. M. Characteristics of modern triticale quality: commercially significant flour traits and cookie quality//Crop and Pasture Science.-2013.- Vol.64(9).-P.874-880. DOI 10.1071/cp13056.

6. Zhanabayeva K.K., Zhamalova D., Ruchkina G., Chernyavskaya O., Ongarbayeva N. Biochemical characteristics of triticale flour formed from separate fractions on grinding grain of Kazakhstan selection // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems.- 2020.-Vol.12(6). - P.709-711. DOI 10.5373/JARDCS/V12I6/S20201084.

7. Zhanabaeva K.K., Ongarbaeva N., Rukshan L.V. Issledovanie granulometricheskogo sostava i kachestva muki iz tritikale kazahstanskoj selekcii //Vestnik MGUP.- 2018.- № 2(25) - S.65-70. URL https://scholar.google.com. [in Russian]

8. Ongarbaeva N.O., Batyrbaeva N.B. Sapa menedzhmenti negizinde astyқ өndeu өndiristerinің tehnohimijalyқ bақylauy: Praktikum.-Almaty, ATU, 2014. -105 b. ISBN 978-601-263-240- 8.[in Kazakh]

9. Badamshina E.I., Gareeva I.T., Leonova S.A., Koshhina E.I. Vlijanie tritikalevoj muki otrubej na pokazateli kachestva hlebnyh palochek// Vestnik KrasGAU.-2023.--№ 1ju-S.298-304. DOI 10.36718/1819-4036-2023-11-298-304. [in Russian]

10. Korzhenivska A., Danylenko S. Study of technological properties of rye and wheat flour. Human and Nation’s Health. - 2024. - Vol.2024(2). – P.17-24. DOI 10.31548/humanhealth.2.2024.16.

11. Martinek P., Vinterová M., Burešová I., Vyhnánek T. Agronomic and quality characteristics of triticale (X Triticosecale Wittmack) with HMW glutenin subunits 5+10. // Journal of Cereal Science. - 2008.- Vol.47(1). - P.68-78. DOI 10.1016/j.jcs.2007.02.003

12. Tian X., Wang X., Wang Z., Sun B., Wang F., Ma S., Gu Y., Qian X. Particle size distribution control during wheat milling: nutritional quality and functional basis of flour products-a comprehensive

review // International Journal of Food Science & Technology.- 2022. -Vol.58(1). - P.7556-7572. DOI 10.1111/ijfs.16120.

13. Kaszuba J., Woś H., Shchipak G. V. Bread making quality parameters of some Ukrainian and Polish triticale cultivars. // Euphytica. - 2024. - Vol.220(2). - P.2-15. DOI 10.1007/s10681-023-03272-4.

14. Kaszuba J., Czyż M., Cebulak T., Pycia K. Assessment of the Suitability of Flour Obtained from Mountain Rye Grain Milling and the Method of Dough Fermentation for the Production of Rye Bread. // Foods. - 2024. -Vol.13(19):3035. DOI 10.3390/foods13193035.

15. Jańczak-Pieniążek M., Kaszuba J. The Influence of Agrotechnical Factors on the Yield and Quality Parameters of Winter Triticale Grain. // Agriculture. - 2024. - Vol.14(12): 2219. DOI 10.3390/agriculture14122219.

16. Kandrokov R.H.,Katin S.A., Sivcev A.O.,Ver' em' ev D.N., Pestova E.V. Ispol' zovanie cel' nomolovoj pshenichno-tritikalevoj muki dlja proizvodsva hlebobulochnyh izdelijju// Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture.- 2025. -Vol.17(1).-518-542 DOI 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1084.

17. Dziki D. Special Issue on "10th Anniversary of Processes: Recent Advances in Food Processing Processes." Processes. - 2025. - Vol. 13(8):2525. DOI 10.3390/pr13082525.

18. Kandrokov R. K. Technological Properties of Wheat-Triticale-Rye Flour. // Biomedical Journal of Scientific & Technical Research.-2021.-Vol.39(3).-P.31372- 31378. DOI 10.26717/bjstr.2021.39.006305.

19. Zuev E.V., Lebedeva T.V., Tyryshkin L.G. Juvenil' naja ustojchivost' rajonirovannyh v Rossijskoj Federacii i perspektivnyh sortov tritikale k gribnym listovym boleznjam//Agrarnaja nauka Vostoka.-2024.-№ 25(6). – S.1000-1008. DOI 10.30766/2072-9081.2024.25.6.1000-1008. [in Russian]

Сведения об авторах

Онгарбаева Н.- доктор технических наук, профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: o.nurlaim@mail.ru;

Изтаев А.- доктор технических наук, профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: auelbekking@mail.ru;

Якияева М.А.- доктор философии (Ph.D), ассоциированный профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: yamadina88@mail.ru

Мухтарханова Р.Б.- кандидат технических наук, доцент, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан. e-mail: rauan_78@mail.ru;

Батырбаева Н.Б.- доктор философии (Ph.D), ассоциированный профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: alua_01.02.03@mail.ru;

Абитбек А.Е.- магистр, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан,e-mail: abitbek_ainur@mail.ru.

Information about authors

Ongarbayeva N.- Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: o.nurlaim@mail.ru;

Iztayev A.- Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: auelbekking@mail.ru;

Yakiyayeva M.- Doctor of Philosophy (PhD), associated professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: yamadina88@mail.ru;

Mukhtarkhanova R.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: rauan_78@mail.ru;

Batyrbayeva N.- Doctor of Philosophy (Ph.D), Associate Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: alua_01.02.03@mail.ru;

Abitbek A.- Master, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: abitbek_ainur@mail.ru.

МРНТИ 65.59.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-993**

АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БАРАНИНЫ

[1]У.Ч. Чоманов, [1]Г.С. Кененбай, [1]Қ.М. Сейітпан, [1]А.С. Әбілда, [2]Ж.Б. Крамсакова

[1]ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан,
[2]Некоммерческое акционерное общество «Казахский Национальный Аграрный Исследовательский Университет», Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: zhanayna.bolat@rpf.kz

В данной статье представлен анализ комплексной технологии производства баранины, ориентированной на экспорт, с использованием маток казахской тонкорунной породы. Цель исследования заключается в повышении эффективности переработки овечьего мяса с улучшенными качественными характеристиками, соответствующими требованиям внешнего рынка. Основной задачей является разработка инновационных методов, направленных на повышение рентабельности и конкурентоспособности мясной продукции путем внедрения комплексного подхода к технологии откорма и переработки ягнятины. Научная значимость исследования заключается в выявлении оптимальных условий для получения высококачественной мраморной баранины, с учетом особенностей породы животных, рациона питания и технологий убоя. Практическая ценность заключается в возможности использования полученных данных для разработки рекомендаций по экспортоориентированной переработке овечьего мяса, что способствует увеличению экспортного потенциала продукции. Методология исследования включала изучение технологических процессов кормления, контроль качества мясной продукции, а также анализ экономической целесообразности внедрения предложенных методов. В ходе экспериментов были использованы современные методы анализа качества мяса, включая органолептические, физико-химические и микробиологические исследования. Результаты показали, что применение комплексного подхода к производству мраморной баранины обеспечивает высокие показатели качества продукции, способствует устойчивому развитию мясной отрасли и повышает конкурентоспособность агропромышленного комплекса Казахстана на международном рынке. Практическое применение выводов исследования возможно в производственной и экспортной деятельности мясоперерабатывающих предприятий, ориентированных на удовлетворение требований международных стандартов качества мясной продукции.

Ключевые слова: баранина, казахская тонкорунная порода, технология переработки мяса, экспорт мяса, агропромышленный комплекс Казахстана.

ҚОЙ ЕТІН ӨНДІРУДІҢ КЕШЕНДІ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ТАЛДАУ

[1]У.Ч. Чоманов, [1]Г.С. Кененбай, [1]Қ.М. Сейітпан, [1]А.С. Әбілда, [2]Ж.Б. Крамсакова

[1] «Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан,
[2] «Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы Қазақстан, e-mail: zhanayna.bolat@rpf.kz

Бұл мақалада қазақтың биязы жүнді тұқымды аналықтарын пайдалана отырып, экспортқа бағдарланған қой етін өндірудің кешенді технологиясын талдау ұсынылған. Зерттеудің мақсаты сыртқы нарық талаптарына сәйкес келетін сапалық сипаттамалары жақсартылған қой етін өңдеу тиімділігін арттыру болып табылады. Негізгі міндет қозыны бордақылау және өңдеу технологиясына кешенді тәсілді енгізу арқылы ет өнімдерінің рентабельділігі мен бәсекеге қабілеттілігін арттыруға бағытталған инновациялық әдістерді әзірлеу болып табылады. Зерттеудің ғылыми маңыздылығы қазақтың биязы жүнді тұқымының ерекшеліктерін, диетаны және сою технологияларын ескере отырып, жоғары сапалы мәрмәр қой етін алудың оңтайлы жағдайларын анықтау болып табылады. Практикалық құндылық - бұл өнімнің экспорттық әлеуетін арттыруға ықпал ететін қой етін экспортқа бағыттап өңдеу бойынша ұсыныстарды әзірлеу үшін алынған деректерді пайдалану мүмкіндігі.

Зерттеу әдістемесі азықтандырудың технологиялық процестерін зерттеуді, ет өнімдерінің сапасын бақылауды, сондай-ақ ұсынылған әдістерді енгізудің экономикалық орындылығын талдауды қамтыды. Эксперименттер ет сапасын талдаудың заманауи әдістерін, соның ішінде органолептикалық, физика-химиялық және микробиологиялық зерттеулерді қолданды. Нәтижелер мәрмәр қой етін өндіруге кешенді тәсілді қолдану өнім сапасының жоғары көрсеткіштерін қамтамасыз ететінін, ет саласының тұрақты дамуына ықпал ететінін және Қазақстанның агроөнеркәсіптік кешенінің халықаралық нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін арттыратынын көрсетті. Зерттеу қорытындыларын өндірістік және ет өнімдерін экспорттауға бағытталған кәсіпорындардың қызметінде, сондай-ақ ет өнімдерінің халықаралық сапа стандарттарына сай болуын қамтамасыз ету мақсатында қолдануға болады.

Түйін сөздер: қой еті, қазақтың биязы жүнді тұқымы, етті қайта өңдеу технологиясы, ет экспорты, Қазақстанның агроөнеркәсіптік кешені.

ANALYSIS OF THE COMPLEX TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF MUTTON

[1]U.Ch. Chomanov, [1]G.S. Kenenbai, [1]K.M. Seitpan, [1]A.S. Abilda, [2]Zh.B. Kramsakova

[1]LLP "Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry", Almaty, Kazakhstan,
[2] «Kazakh National Agrarian Research University» Non-profit Joint Stock Company, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: zhanayna.bolat@rpf.kz

This article presents an analysis of a comprehensive mutton production technology aimed at export, utilizing ewes of the Kazakh fine-wool breed. The research aims to enhance the efficiency of sheep meat processing by improving the quality characteristics to meet external market requirements. The primary objective is to develop innovative methods to increase the profitability and competitiveness of meat products through an integrated approach to lamb fattening and processing technologies. The scientific significance of the study lies in identifying optimal conditions for obtaining high-quality marbled mutton, considering the specific breed characteristics, feeding regimen, and slaughter technologies. The practical value of the research is in the potential use of the obtained data to develop recommendations for export-oriented sheep meat processing, contributing to an increase in the export potential of the products. The research methodology included studying feeding technological processes, controlling meat product quality, and analyzing the economic feasibility of implementing the proposed methods. During the experiments, modern methods of meat quality analysis were used, including organoleptic, physicochemical, and microbiological studies. The results demonstrated that applying a comprehensive approach to marbled mutton production ensures high-quality product indicators, promotes the sustainable development of the meat industry, and enhances the competitiveness of Kazakhstan's agro-industrial complex in the international market. The practical application of the research findings is feasible in the production and export activities of meat processing enterprises focused on meeting international meat product quality standards.

Keywords: mutton, Kazakh fine-wool breed, meat processing technology, meat export, agro-industrial complex of Kazakhstan.

Введение. Изучение комплексной технологии изготовления баранины, нацеленной на экспорт, от маток казахской тонкорунной породы открывает перспективные горизонты для мясной индустрии Казахстана. Такой подход гармонично совмещает традиционные способы овцеводства и современные стандарты качества продукции, рассчитанной на международные рынки.

В Министерстве сельского хозяйства в контексте государственной программы развития агропромышленного комплекса установлена цель наращивания экспорта мяса. Государственная программа предполагает увеличение экспортных поставок говядины до 37%, баранины – до 32%, свинины – до 43% к моменту завершения выполнения отраслевых программ. Вместе с тем, бо-

лее прибыльным является экспорт мраморного мяса, стоимость которого в 3-4 раза превосходит стоимость обычного мяса. На данный момент лидирующие позиции в производстве и экспорте занимает США и Австралия, поставляющие на мировые рынки премиальное мясо с «мраморной» структурой [1]. Специалисты из этих стран разработали технологии получения мраморной говядины, пользующейся значительным спросом в европейских странах, Китае и Японии. Казахстан располагает значительным потенциалом для разведения МРС и изготовления мяса, включая мраморную баранину [2]. В текущий момент Казахстан экспортирует баранину в ОАЭ. Поэтому разработка и внедрение технологии производства мраморной баранины в РК, способствующая увеличению экспортного потенциала страны, окажет позитивное воздействие на экономическое развитие Казахстана [3].

Материалы и методы. Казахская тонкорунная порода овец выделяется своими высокими показателями мясо-шерстной продуктивности и отличными убойными качествами [4]. Представители этой породы отличаются внушительными размерами, крепкой конституцией и хорошо развитой мясной формой [5]. Средние параметры баранов: высота в холке - 79 см, косая длина туловища - 84 см, обхват груди - 104 см; для маток аналогичные показатели составляют: 73 см, 77 см и 99 см соответственно.

Формирование ”мраморного” рисунка в мясе обусловлено увеличением жировой прослойки в мышечных тканях животных, что происходит за счет отложения жира между мышечными волокнами [6]. Визуально такая структура придает мясу характерный рисунок, делая его более сочным и мягким при кулинарной обработке [7]. Для создания данной структуры используется масляно-жировая смесь, состоящая из следующих компонентов: А – 100 мас.ч. жира с показателем твердости (SFC) в пределах 10-50 при температуре 10°С и 1-20 при 30°С; В – 0,1-2 мас.ч. ингибитора кристаллизации; С – 0,01-0,1 мас.ч. полиолового эфира, содержащего жирную кислоту с температурой плавления 20-22°С. При этом соотношение компонентов С к В варьируется в диапазоне от 0,005 до 1.

В современных разработках также описана кормовая формула для овец, способствующая росту внутримышечного жира и обогащению мяса олеиновой кислотой и омега-3 жирными кислотами [8]. Этот подход позволяет значительно улучшить жировой состав скелетных мышц, повышая пищевую ценность мяса [9]. Увеличенное содержание внутримышечного жира оказывает благоприятное воздействие на органолептические свойства продукта, что особенно важно с точки зрения ожиданий потребителей. Внедрение этой технологии открывает новые возможности для позиционирования баранины как премиального, «здорового» белкового продукта, усиливая ее рыночную привлекательность.

Для объективной оценки степени мраморности мяса применяется цифровая методика анализа изображений: рассчитывается доля площади, занимаемой жировыми включениями, относительно общей площади мышцы [10]. Дополнительно вводится индекс тонкости мрамора, представляющий собой отношение суммарной длины контура всех жировых включений к квадратному корню из площади мышечной вырезки [11].

Обсуждение и результаты. В данном исследовательском проекте выполнена всесторонняя экспертиза кормовых составляющих растительного и животного происхождения, применяемых в процессе откорма ягнят. Целью исследования было повышение мясных качеств и улучшение показателей мраморности мяса.

В первую очередь акцентировалось внимание на растительных компонентах, традиционно задействованных в рационах ягнят казахской тонкорунной породы. Среди них особо выделяются ячмень, кукуруза, шроты масличных культур и сено люцерны. Они привлекают внимание своими достойными питательными свойствами и доступностью в конкретном регионе.

Ячмень играет ключевую роль в качестве основного зернового ингредиента. Благодаря высокому содержанию крахмала и клетчатки он гарантирует устойчивый набор живой массы и

благоприятно влияет на процессы пищеварения. Его умеренная насыщенность протеином делает ячмень подходящим для построения плотной мышечной ткани, что позитивно отражается на сочности и текстуре мяса [12].

Кукуруза служит источником концентрированной энергии. Высокая концентрация усвояемого крахмала в её составе ускоряет процесс откорма и содействует накоплению жировой прослойки в мышцах. Включение кукурузы в рацион способствует формированию желаемой мраморной структуры, что особенно актуально при ориентации продукции на экспортные рынки [13].

Жмыхи, получаемые в процессе переработки подсолнечника и сои, являются важным источником растительных белков и аминокислот. Включение этих компонентов в рацион животных способствует наращиванию мышечной массы и улучшению общего питания, при этом снижая потребность в более дорогостоящих добавках животного происхождения. Кроме того, жмыхи положительно влияют на усвоение кормов и поддержание иммунитета [14].

Сено люцерны характеризуется высоким содержанием белков, витаминов, в частности витамина А, и минеральных веществ, таких как кальций и магний. Оно стимулирует улучшение работы пищеварительной системы, благодаря высокому содержанию клетчатки, а также способствует поддержанию микрофлоры кишечника. Всё это оказывает благоприятное воздействие на общее состояние животных и, как следствие, на качество мяса [15].

Рацион, включающий ячмень, кукурузу, жмых и люцерну, демонстрирует хорошую сбалансированность как по питательным свойствам, так и по влиянию на прирост массы тела и качество мяса ягнят. Ячмень и кукуруза выступают основными поставщиками энергии и углеводов, в то время как жмых обеспечивает поступление растительного белка, а люцерна выполняет роль регулятора пищеварения и общего стимулятора иммунной системы. Совместное использование данных компонентов в кормлении способствует улучшению мраморности мяса, что особенно актуально при ориентации продукции на экспорт.

Помимо растительных компонентов, в состав рациона включены ингредиенты животного происхождения, обладающие высокой биологической активностью и способностью улучшать вкусовые и текстурные характеристики мяса. Данный подход позволяет сформировать премиальные свойства ягнятины, обеспечивая ей конкурентоспособность на внешнем рынке [16].

Среди этих компонентов особенно выделяется рыбная мука, которая считается эталоном по содержанию легкоусвояемых белков и полиненасыщенных жирных кислот. Она богата омега-3 жирными кислотами, улучшает липидный профиль мяса, делая его вкус более насыщенным, а текстуру – нежной. Кроме того, рыбная мука содержит витамины группы B и D, поддерживающие иммунитет и общее здоровье животных [17].

Мясокостная мука - ещё один весомый ингредиент, полученный из продуктов животного происхождения. В ней может содержаться до 60% белка, а также солидный процент минералов, среди которых лидируют кальций и фосфор. Данные элементы критически важны для здорового формирования скелета, особенно в период роста молодняка. Включение мясокостной муки в рацион питания положительно сказывается на метаболизме, способствует лучшему усвоению прочих кормов, что, в свою очередь, ведёт к приросту массы и улучшению характеристик туши [18].

Животные жиры, применяемые в небольших дозах, тоже вносят свой вклад. Они служат источником энергии, увеличивают питательность кормов, а также улучшают их вкусовую привлекательность. Это особенно актуально на заключительном этапе откорма, когда требуется обеспечить интенсивный набор веса, не вызывая проблем с пищеварением [19].

В рамках данного исследования был проведён анализ химических и биологических характеристик кормовых компонентов, представленных в таблицах 1 и 2. Такой подход позволил не

только оценить потенциальную эффективность конкретных добавок, но и выявить чёткую связь между их применением и качественными показателями производимой продукции - мраморной ягнятины казахской тонкорунной породы.

Таблица 1 - Физико-химические свойства растительного сырья

Наименование образца	ПВ	ГВ	ОВ	СВ	В натуральном виде, %									Корм. ед. кг	ПП, г	ОЭ МДЖ	ЭКЕ
					Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ	Сахар	Крахмал	Зола	Са	Р				
Ячмень зерно	5.96	2.73	8.53	91.47	12.70	1.88	5.64	67.10	-	43.66	4.15	0.17	0.23	1.17	71.15	11.09	1.11
Кукуруза зерно	7.33	1.56	8.78	91.22	6.20	2.37	1.32	73.66	-	54.22	0.74	0.28	0.57	1.16	47.72	10.70	1.07
Подсолнечный жмых	9.12	2.52	11.41	88.59	35.26	4.18	10.63	31.97	-	5.36	6.54	0.22	0.79	1.00	324.41	12.32	1.23
Сено люцерновое	8.23	3.17	11.14	88.86	14.13	3.85	29.09	33.67	-	-	8.11	1.59	0.18	0.55	91.86	7.78	0.78

Таблица 2 - Физико-химические свойства животного сырья

Наименование образца	ПВ	ГВ	ОВ	СВ	В натуральном виде, %								Корм. ед. кг	ПП, г	ОЭ МДЖ	ЭКЕ
					Протеин	Жир	Клетчатка	БЭВ	Сахар	Зола	Са	Р				
Рыбная мука	4.45	2.36	6.70	93.30	59.16	6.13	3.32	05.02	02.01	19.60	2.94	0.98	1.27	440.77	15.81	1.58
Мясокостная мука	1.95	0.83	2.76	97.24	62.70	19.93	0.00	4.49	-	10.11	2.33	0.66	1.72	438.92	19.77	1.98

Зерно широко используется в рационах откорма благодаря своему богатству углеводами, доля которых может достигать 70%, а также содержанию белка в пределах 12-14%. Это делает его отличным источником энергии и строительным материалом, способствующим наращиванию мышечной массы у молодняка. Клетчатка, присутствующая в зерне, благотворно влияет на работу пищеварительного тракта, а плотная структура стимулирует жевательную активность, улучшая перевариваемость кормов.

Кукуруза традиционно является ключевым энергетическим компонентом, благодаря высокому содержанию легкоусвояемых углеводов. Её питательные вещества быстро включаются в обмен веществ, способствуя интенсивному росту и накоплению жировых отложений. Это напрямую влияет на формирование мраморности мяса, что является важным показателем для экспортоориентированного откорма.

Жмыхи подсолнечника и сои характеризуются высокой концентрацией растительного белка, достигающей 40%, а также содержат важные макро- и микроэлементы, такие как кальций и фосфор. Включение жмыхов в рацион помогает восполнить дефицит животного белка, одновременно улучшая общий уровень питания животных.

Сено люцерны, отличающееся высоким содержанием белка (до 22%) и клетчатки (до 30%), способствует нормализации пищеварения и поддерживает общий иммунный статус. Наличие

кальция, магния и калия делает люцерну ценным компонентом сбалансированного рациона, особенно в периоды интенсивного роста.

Рыбная мука, отличающаяся впечатляющим содержанием протеина (до 70%) и жиров, в том числе и драгоценных омега-3 кислот, выполняет важную функцию в активизации наращивания мышечной ткани, а также улучшении вкусовых характеристик мяса. Из-за высокой биологической ценности, этот ингредиент справедливо считается одним из ключевых в рационах откорма.

Мясокостная мука, содержащая примерно 55% протеина, наряду с существенными объемами кальция и фосфора, оказывает позитивное воздействие на развитие костной системы и повышение иммунитета у животных, что особенно актуально в условиях интенсивного животноводства.

Анализ биологической ценности кормов продемонстрировал, что рацион, сконструированный на основе комбинации растительных (ячмень, кукуруза, жмых, люцерна) и животных (рыбная и мясокостная мука) компонентов, обеспечивает ягнят всеми необходимыми питательными элементами. Высокое содержание белков и аминокислот, адекватное количество жиров и углеводов, плюс сбалансированный минеральный состав содействуют эффективному откорму и благоприятно отражаются на свойствах готового мяса.

Исследование физико-химических характеристик и биологической ценности кормового сырья позволило определить ключевые ингредиенты, гарантирующие оптимальные условия для формирования мраморной структуры баранины. В растительных компонентах акцент делается на обеспечение животных энергией и клетчаткой, тогда как компоненты животного происхождения поставляют незаменимые аминокислоты, жиры и минералы, способствующие развитию межмышечного жира и мышечной массы.

На основании проведенного анализа можно выделить следующие кормовые компоненты как наиболее перспективные для формирования экспортоориентированного откорма ягнят:

- Ячмень – ценный источник легкоусвояемых углеводов, обеспечивающий энергетическую поддержку роста.

- Кукуруза – помимо энергетической ценности, содействует отложению подкожного и внутримышечного жира, улучшая мраморность.

- Жмых (подсолнечный/соевый) – насыщен белком и необходим для увеличения мышечной массы.

- Люцерновое сено – включает в себя клетчатку и минеральные вещества, улучшая пищеварение и общее самочувствие организма.

Анализ физико-химических показателей этих компонентов (см. таблицу 1) подтвердил их высокую питательную ценность. В частности, корма с добавлением рыбной муки демонстрировали содержание белка на уровне 22-24%, жиров – 5-6%, зольности – 1,5-2%, что указывает на богатство минеральными веществами. Немаловажным является присутствие аминокислот, таких как лизин и метионин, положительно влияющих на формирование мраморности и прирост мышечной массы.

Результаты опытов с разработанными рационами при откорме ягнят казахской тонкорунной породы от маточного поголовья указывают на оптимальный период кормления в 3-4 месяца до убоя. Именно за этот промежуток времени достигается необходимое содержание внутримышечного жира, что обуславливает сочность, мягкость и желательный мраморный рисунок мяса.

Выводы. Использование специализированных комбикормов, отличающихся высокой биологической ценностью, способствует увеличению степени мраморности мяса в среднем на 15-20% по сравнению с традиционными подходами к откорму. Данный эффект подтвержден как оценкой мясной продуктивности [20], так и исследованиями, проведенными на шерстяных показателях животных [21].

Мясо ягнят, полученное при таком типе кормления, обладает улучшенными органолептическими свойствами: сочностью, выраженной мраморностью и нежной текстурой. Предложенная

технология является масштабируемой и может быть эффективно применена на фермерских хозяйствах и перерабатывающих предприятиях, ориентированных на экспорт.

Комплексный подход, основанный на учете породных особенностей казахской тонкорунной овцы и грамотном подборе сырья, открывает перспективу выхода Казахстана на международные рынки с мясом премиум-класса. Для успешного продвижения мраморной баранины за рубеж необходимы не только соблюдение технологических норм, но и разработка эффективной маркетинговой стратегии: участие в международных выставках, создание узнаваемого бренда, поиск зарубежных партнеров.

В заключение, развитие данной технологии является важным шагом на пути к усилению позиций отечественной мясной отрасли в условиях глобальной конкуренции.

Финансирование. *Представленные исследования выполнены в рамках программы «Разработка технологии комплексной и глубокой переработки сельскохозяйственного сырья для производства продуктов питания, обеспечивающие высокое качества и безопасности выпускаемой продукции» BR24892775, финансируемой Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан.*

Текст статьи был отредактирован и проверен на грамматические, орфографические и стилистические ошибки с использованием языковой модели ChatGPT (OpenAI, 2025) [22]. Генерация научного содержания с применением ИИ не проводилась.

Литература

1. Dikeman M., Devine C. Sausage casings // Encyclopedia of Meat Sciences // Imprint: Academic Press. Second edition. - 2014. ISBN 9780123847348.

2. Шлыков С.Н. Система оценки качества мяса по степени мраморности // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности.//АПК-продукты здорового питания. - 2016. - № 6. - С.15–19. ISSN: 2311-6447.

3. Ескара М.А. Овцеводство юга Казахстана // Инновации и научное пространство: теория, исследования и практические решения: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Шымкент: Университет «Мирас». - 2013. - С.3-6.

4. Борисенко Е.Я. Разведение сельскохозяйственных животных. – 4-е изд //Колос. - 1967. – 440 с. URL: https://www.nehudlit.ru (дата обращения: 08.09.2025).

5. Инструкция по бонитировке овец тонкорунных пород с основами племенной работы/ М.: Агропромиздат. - 1985. – 63 с.

6. Горбунова Н.А. Применение объективных инструментальных методов для оценки нежности и мраморности мяса // Всё о мясе. – 2012. – № 3. – С. 34–54. URL: www.cyberlinka.ru (дата обращения: 08.09.2025).

7. Phelps M.R., Garmyn A.J., Brooks J.C., Mafi G.G., Duckett S.K., Legako J.F., O'Quinn T.G., Miller M.F. Effects of marbling and postmortem aging on consumer assessment of United States lamb loin // Meat and Muscle Biology. – 2018. – Vol.2 (1). – P.221–232. DOI: 10.22175/mmb2017.09.0045.

8. Malau-Aduli A.E.O., et al. Fortification of diets with omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids improves meat quality in lambs // Frontiers in Veterinary Science. – 2022. – Vol.9. – Art.9510752. DOI: 10.3389/fvets.2022.933038.

9. Cavalcanti D.M., da Silva Cordeiro L., de Jesus R.P., de Andrade Aguiar E.M. Performance, carcass traits and meat quality of lambs fed high-oleic sunflower cake // Agriculture. – 2023. – Vol.15 (2). – P. 191. DOI: 10.3390/agriculture15020191.

10. Tariku E. et al. Modeling of Ethiopian Beef Meat Marbling Score Using Image Processing for Rapid Meat Grading // Journal of Imaging. – 2021. – Vol.10 (6). – P.130. DOI: 10.3390/jimaging10060130.

11. Lee B, Choi YM. Correlation of Marbling Characteristics with Meat Quality and Histochemical Characteristics in Longissimus Thoracis Muscle from Hanwoo Steers // Food Science Animal Resources. – 2019. - Vol. 39(1). – P.151-161. DOI: 10.5851/kosfa.2019.e12.

12. Badea A., Wijekoon C. Benefits of Barley Grain in Animal and Human Diets // Cereal Grains. – 2021. – Vol.1. DOI: 10.5772/intechopen.97053.

13. Purwin C., et al. The Effect of Diets Containing High-Moisture Corn or Triticale Grain on Animal Performance and the Fatty Acid Composition of Lamb Muscles // Animals. – 2022. – Vol.12 (22). – Article 3130. – DOI: 10.3390/ani12223130.

14. Yegorov B., et al. Prospects of Using By-Products of Sunflower Oil Production in Compound Feed Industry // Food Science and Technology. – 2019. – Vol.13 (1). DOI: 10.15673/fst.v13i1.1337.

15. Blume L., et al. Alfalfa – a regional protein source for all farm animals // Landbauforschung: Journal of Sustainable and Organic Agricultural Systems. – 2021. – Vol.71 (1). – P.1–13. DOI: 10.3220/LBF1615894157000.

16. Gasco L., et al. Fishmeal Alternative Protein Sources for Aquaculture Feeds // SpringerBriefs in Molecular Science. – 2018. – P. 1- 28. DOI: 10.1007/978-3-319-77941-6_1.

17. Hendriks W.H., et al. Nutritional Quality and Variation of Meat and Bone Meal // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. – 2002. – Vol.15 (10). – P.1507–1516. DOI: 10.5713/ajas.2002.1507

18. Ponnampalam E., et al. Effects of Nutritional Factors on Fat Content, Fatty Acid Composition, and Sensorial Properties of Meat and Milk from Domesticated Ruminants: An Overview // Animals. – 2024. – Vol.14 (6). – Article 840. DOI 10.3390/ani14060840.

19. Delgado-Pertíñez M., Horcada A. Better Animal Feeding for Improving the Quality of Ruminant Meat and Dairy // Foods. – 2021. – Vol.10 (5). – Article 1076. DOI 10.3390/foods10051076.

20. Методика оценки мясной продуктивности овец/ М.: Дубровицы, 1970. – 50 с. URL: https://cyberleninka.ru (дата обращения: 08.09.2025).

21. Методические указания по исследованию шерсти овец/ Ред. издат отдел ВНИИЖ. -М.- 1958. – 52 с. URL: https://www.dissercat.com (дата обращения: 08.09.2025).

22. OpenAI. ChatGPT (версия GPT-4). URL: https://chat.openai.com – Назначение использования: языковая редактура и проверка грамматики.

References

1. Sausage casings // Encyclopedia of Meat Sciences // Imprint: Academic Press. Second edition. – 2014. ISBN: 9780123847348.

2. Shlykov S.N. Sistema ocenki kachestva myasa po stepeni mramornosti // Tehnologii pishhevoj i perera-batyvajushhej promyshlennosti. APK-produkty zdorovogo pitanija – 2016. – No.6. – S.15-19. ISSN: 2311-6447. [in Russian]

3. Eskara M.A. Ovtsevodstvo yuga Kazakhstana// Innovatsii i nauchnoe prostranstvo: teoriia, issledovaniia i prakticheskie resheniia, Proc. Int. Conf. Shymkent: Miras University. - 2013. s.3–6. URL: https://natural-sciences.ru (accessed: 08.09.2025). [in Kazakh]

4. Borisenko E.Ya. Razvedenie selskokhoziaistvennykh zhivotnykh.4-e izd. //: Kolos. -1967. -440 s. URL: https://www.nehudlit.ru (accessed: 08.09.2025). [in Russian]

5. Instruktsiia po bonitirovke ovets tonkorunnykh porod s osnovami plemennoi raboty / Moscow: Agropromizdat. - 1985. -63 s. [in Russian]

6. Gorbunova N.A. Primenenie ob'ektivnykh instrumental'nykh metodov dlia otsenki nezhnosti i mramornosti // Vse o myase. – 2012. – 3. –S. 34–54. URL: www.cyberlinka.ru (accessed: 08.09.2025). [in Russian]

7. Phelps M.R., Garmyn A.J., Brooks J.C., Mafi G.G., Duckett S.K., Legako J.F., O'Quinn T.G., Miller M.F. Effects of marbling and postmortem aging on consumer assessment of United States lamb loin // Meat and Muscle Biology. – 2018. – Vol.2 (1). – P.221–232. DOI: 10.22175/mmb2017.09.0045.

8. Malau-Aduli A.E.O., et al. Fortification of diets with omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids improves meat quality in lambs // Frontiers in Veterinary Science. – 2022. – Vol.9. – Art.9510752. DOI: 10.3389/fvets.2022.933038.

9. Cavalcanti D.M., da Silva Cordeiro L., de Jesus R.P., de Andrade Aguiar E.M. Performance, carcass traits and meat quality of lambs fed high-oleic sunflower cake // Agriculture. – 2023. – Vol.15 (2). – P. 191. DOI: 10.3390/agriculture15020191.

10. Tariku E. et al. Modeling of Ethiopian Beef Meat Marbling Score Using Image Processing for Rapid Meat Grading // Journal of Imaging. – 2021. – Vol.10 (6). – P.130. DOI: 10.3390/jimaging10060130.

11. Lee B, Choi YM. Correlation of Marbling Characteristics with Meat Quality and Histochemical Characteristics in Longissimus Thoracis Muscle from Hanwoo Steers // Food Science Animal Resources. – 2019. - Vol. 39(1). – P.151-161. DOI: 10.5851/kosfa.2019.e12.

12. Badea A., Wijekoon C. Benefits of Barley Grain in Animal and Human Diets // Cereal Grains. – 2021. – Vol.1. DOI: 10.5772/intechopen.97053.

13. Purwin C., et al. The Effect of Diets Containing High-Moisture Corn or Triticale Grain on Animal Performance and the Fatty Acid Composition of Lamb Muscles // Animals. – 2022. – Vol.12 (22). – Article 3130. – DOI: 10.3390/ani12223130.

14. Yegorov B., et al. Prospects of Using By-Products of Sunflower Oil Production in Compound Feed Industry // Food Science and Technology. – 2019. – Vol.13 (1). DOI: 10.15673/fst.v13i1.1337.

15. Blume L., et al. Alfalfa – a regional protein source for all farm animals // Landbauforschung: Journal of Sustainable and Organic Agricultural Systems. – 2021. – Vol.71 (1). – P.1–13. DOI: 10.3220/LBF1615894157000.

16. Gasco L., et al. Fishmeal Alternative Protein Sources for Aquaculture Feeds // SpringerBriefs in Molecular Science. – 2018. – P. 1- 28. DOI: 10.1007/978-3-319-77941-6_1.

17. Hendriks W.H., et al. Nutritional Quality and Variation of Meat and Bone Meal // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. – 2002. – Vol.15 (10). – P.1507–1516. DOI: 10.5713/ajas.2002.1507

18. Ponnampalam E., et al. Effects of Nutritional Factors on Fat Content, Fatty Acid Composition, and Sensorial Properties of Meat and Milk from Domesticated Ruminants: An Overview // Animals. – 2024. – Vol.14 (6). – Article 840. DOI 10.3390/ani14060840.

19. Delgado-Pertíñez M., Horcada A. Better Animal Feeding for Improving the Quality of Ruminant Meat and Dairy // Foods. – 2021. – Vol.10 (5). – Article 1076. DOI 10.3390/foods10051076.

20. Metodika otsenki miasnoi produktivnosti ovets / Moscow: Dubrovytsy. - 1970. -50 s. URL: https://cyberleninka.ru (accessed: 08.09.2025). [in Russian]

21. Metodicheskie ukazaniia po issledovaniiu shersti ovets /Moscow: Dubrovytsy. - 1958. -52 s. URL: https://www.dissercat.com (accessed: 08.09.2025). [in Russian]

22. OpenAI. ChatGPT (GT-4 version). URL: https://chat.openai.com – Purpose of use: language editing and grammar checking.

Сведения об авторах

Чоманов У.Ч.- доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, ТОО «Казахский научно - исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail:u.chomanov@rpf.kz;

Кененбай Г.С.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор, член-корр. НАН РК, ТОО «Казахский научно - исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail: g.kenenbay@rpf.kz;

Сейтпан К.М.- кандидат сельскохозяйственных наук, ТОО «Казахский научно - исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail: seitpan51@mail.ru;

Абилда А.С.- магистр биологических наук, ТОО «Казахский научно - исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», Алматы, Казахстан, e-mail:a.abilda@rpf.kz;

Крамсакова Ж.Б.- магистр технических наук, докторант, Некоммерческое акционерное общество «Казахский Национальный Аграрный Исследовательский Университет», Алматы, Казахстан, e-mail:zhanayna.bolat@rpf.kz.

Information about the authors

Chomanov U.Ch. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, LLP “Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: u.chomanov@rpf.kz;

Kenenbay G.S. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, LLP “Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry”,Almaty, Kazakhstan, e-mail: g.kenenbay@rpf.kz;

Seitpan K. M.- Candidate of Agricultural Sciences, LLP “Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: seitpan51@mail.ru;

Abilda A. S. - Master of Biological Sciences, L LP “Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry”, Almaty, Kazakhstan, e-mail:a.abilda@rpf.kz;

Kramsakova Zh.B.- Master of Technical Sciences, Doctoral student, «Kazakh National Agrarian Research University» Non-profit Joint Stock Company, Almaty, Kazakhstan, e-mail:zhanayna.bolat@rpf.kz.

МРНТИ 65.29.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1061**

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ МУКИ ИЗ ЗЕРНА СОРТОВ ТРИТИКАЛЕ, ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ В КАЗАХСТАНЕ

Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, А.Т. Киябаева, М.А. Якияева, Ж.К. Нургожина

Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: yamadina88@mail.ru

В условиях растущего интереса к использованию альтернативных зерновых культур, таких как тритикале, важное значение приобретает изучение их перерабатывающих свойств, в частности гранулометрического состава муки. Целью настоящего исследования является установление взаимосвязи между физическими характеристиками зерна различных сортов тритикале, возделываемых в Казахстане, и гранулометрическим составом получаемой из него муки. Работа направлена на определение параметров, влияющих на фракционную структуру муки, и разработку подходов к прогнозированию её качества в зависимости от свойств зерна. Научная и практическая значимость исследования заключается в возможности более точной оценки перерабатываемых сортов тритикале и оптимизации процессов мукомольного производства для разных направлений использования муки. Методология исследования включала физико-технический анализ зерна, определение размеров и долей фракций муки, а также проведение корреляционного анализа и построение моделей линейной регрессии. В результате установлены высокие коэффициенты корреляции между выравненностью зерна, содержанием мелких зерен и долей фракций размером 160 и 190 мкм. Построены уравнения линей

ной регрессии, позволяющие прогнозировать гранулометрический состав муки на основе параметров зерна. Наибольший вклад в хлебопекарные свойства вносят фракции 160–190 мкм, в то время как фракции 125–100 мкм обеспечивают технологическую пластичность, а ≤ 80 мкм подходят для кондитерского использования. Сорт Кожа показал наилучшую однородность по фракционному составу муки. Проведённое исследование вносит вклад в развитие технологий переработки зерна тритикале и может быть использовано при разработке рекомендаций для мукомольных предприятий, ориентированных на выпуск продукции различного назначения.

Ключевые слова: тритикале, гранулометрический состав муки, сортовой помол, хлебопекарные свойства, ситовой анализ, корреляционный анализ, размеры частиц муки.

ҚАЗАҚСТАНДА ӨСІРІЛГЕН ТРИТИКАЛЕ СҰРЫПТАРЫНЫҢ АСТЫҚТАРЫНАН АЛЫНҒАН ҰНДЫҢ ГРАНУЛОМЕТРЛІК ҚҰРАМЫ

Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, А.Т. Киябаева, М.А. Якияева, Ж.К. Нургожина

Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: yamadina88@mail.ru

Тритикале сияқты балама дәнді дақылдарды пайдалануға қызығушылықтың артуы жағдайында олардың өңдеу қасиеттерін, атап айтқанда ұнның гранулометриялық құрамын зерттеу маңызды болып отыр. Бұл зерттеудің мақсаты – Қазақстанда өсірілетін тритикаленің әртүрлі сорттары дәндерінің физикалық сипаттамалары мен одан алынатын ұнның гранулометриялық құрамы арасындағы байланысты анықтау. Жұмыс ұнның фракциялық құрылымына әсер ететін параметрлерді анықтауға және астықтың қасиеттеріне байланысты оның сапасын болжау тәсілдерін әзірлеуге бағытталған. Зерттеудің ғылыми-практикалық маңыздылығы өңделген тритикале сорттарын дәлірек бағалау және ұнды пайдаланудың әртүрлі бағыттары үшін ұн өндіру процестерін оңтайландыру мүмкіндігінде. Зерттеу әдістемесі астықтың физикалық-техникалық талдауын, ұн фракцияларының өлшемдері мен пропорцияларын анықтауды, сонымен қатар корреляциялық талдауды

және сызықтық регрессия модельдерін құруды қамтыды. Нәтижесінде дәннің біркелкілігі, ұсақ дәндердің мөлшері және 160 және 190 мкм өлшемді фракциялардың үлесі арасында жоғары корреляциялық коэффициенттер белгіленді. Астық параметрлері негізінде ұнның гранулометриялық құрамын болжауға мүмкіндік беретін сызықтық регрессия теңдеулері құрастырылған. Нан пісіру қасиеттеріне 160–190 мкм фракциялар ең үлкен үлес қосады, ал 125–100 мкм фракциялар технологиялық икемділікті қамтамасыз етеді, ал ≤80 мкм кондитерлік өнімдерді қолдануға жарамды. Қожа сорты ұнның фракциялық құрамы бойынша ең жақсы біртектілікті көрсетті. Жүргізілген зерттеулер тритикале астық өңдеу технологияларын дамытуға ықпал етеді және әртүрлі мақсаттағы өнімдерді өндіруге бағытталған ұн диірмендері үшін ұсыныстар әзірлеуде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: тритикале, ұнның гранулометриялық құрамы, сортты ұнтақтау, пісіру қасиеттері, елеуіштік талдау, корреляциялық талдау, ұн бөлшектерінің өлшемдері

GRANULOMETRIC COMPOSITION OF FLOUR FROM GRAIN OF TRITICALE VARIETIES CULTIVATED IN KAZAKHSTAN

N. Ongarbayeva, A.I. Iztayev, A.T. Kiyabayeva, M.A. Yakiyayeva✉, Zh.K. Nurgozhina

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: yamadina88@mail.ru

In the context of growing interest in the use of alternative grain crops such as triticale, the study of their processing properties, in particular the granulometric composition of flour, is becoming important. The purpose of this study is to establish the relationship between the physical characteristics of grain of different triticale varieties grown in Kazakhstan and the granulometric composition of flour obtained from it. The work is aimed at determining the parameters affecting the fractional structure of flour and developing approaches to predicting its quality depending on the properties of the grain. The scientific and practical significance of the study lies in the possibility of a more accurate assessment of the processed triticale varieties and optimization of flour-milling processes for different areas of flour use. The research methodology included physical and technical analysis of grain, determination of the sizes and proportions of flour fractions, as well as correlation analysis and construction of linear regression models. As a result, high correlation coefficients were established between grain uniformity, the content of small grains and the proportion of fractions of 160 and 190 μm. Linear regression equations have been constructed to predict the grain size distribution of flour based on grain parameters. Fractions of 160–190 μm make the greatest contribution to baking properties, while fractions of 125–100 μm provide technological plasticity, and ≤80 μm are suitable for confectionery use. The Kozha variety showed the best homogeneity in the grain size distribution of flour. The study contributes to the development of triticale grain processing technologies and can be used to develop recommendations for flour mills focused on the production of products for various purposes.

Key words: triticale, flour granulometric composition, varietal milling, baking properties, sieve analysis, correlation analysis, flour particle sizes.

Введение. Тритикале (× Triticosecale) - зерновая культура, полученная в результате гибридизации пшеницы (Triticum) и ржи (Secale), объединяющая в себе высокую продуктивность, стрессоустойчивость и неприхотливость ржи с хорошими хлебопекарными качествами и пищевой ценностью пшеницы [1,2]. Благодаря таким свойствам, как устойчивость к засухе, болезням, кислотности почв, а также способности формировать высокий урожай при минимальных агротехнических затратах, тритикале становится всё более перспективной культурой в условиях изменяющегося климата и дефицита продовольственного сырья [3, 4].

Зерно тритикале содержит в среднем 13–16 % белка, отличается сбалансированным аминокис-

лотным составом, содержит значительное количество макро- и микроэлементов (в том числе цинк, железо, фосфор), а также пищевых волокон. Благодаря этим характеристикам оно может служить полноценным сырьём как для производства продуктов питания, так и для комбикормовой промышленности [5, 6]. В последние годы в Республике Казахстан наблюдается устойчивый рост интереса к возделыванию тритикале, что обусловлено необходимостью расширения сырьевой базы и повышения продовольственной безопасности, особенно в регионах с ограниченными ресурсами и повышенными агроклиматическими рисками [7, 8].

Одним из ключевых направлений использования тритикале является производство муки, которая может применяться в хлебопекарной, кондитерской, макаронной и других отраслях пищевой промышленности. Однако технологические свойства такой муки во многом зависят от её гранулометрического состава — распределения частиц по размерам. Этот показатель оказывает существенное влияние на физико-химические и реологические свойства теста, такие как водопоглощение, вязкость, пластичность, ферментативная активность, белизна и другие, напрямую определяя качество и стабильность готовой продукции [9, 10]. В частности, мука с преобладанием более крупных фракций может быть предпочтительна для хлебопечения, тогда как более мелкие фракции находят применение в кондитерском производстве [11, 12].

Тем не менее, несмотря на практическую значимость, гранулометрический состав муки из зерна тритикале остаётся недостаточно изученным, особенно в аспекте сортовых различий и их взаимосвязи с физико-технологическими характеристиками исходного зерна. В научной литературе наблюдается ограниченность данных, посвящённых корреляции между параметрами зерна и свойствами конечного продукта [13, 14]. Это существенно затрудняет разработку научно обоснованных схем сортового помола, выбор оптимальных режимов переработки, а также прогнозирование технологического поведения муки при производстве различных видов продукции [15, 16].

Таким образом, выявление взаимосвязей между характеристиками зерна и гранулометрическим составом полученной из него муки представляет собой актуальную задачу, имеющую как теоретическое, так и прикладное значение. Полученные данные позволят повысить эффективность переработки тритикале, а также адаптировать технологические процессы под конкретные цели — будь то хлебопекарная, кондитерская или макаронная продукция.

Цель исследования: установить взаимосвязь между гранулометрическим составом муки, полученной из зерна тритикале казахстанских сортов, и основными показателями качества зерна и муки.

Задачи исследования.

1. Провести определение качественных характеристик зерна тритикале и осуществить обоснованный отбор сортообразцов с акцентом на выравненность, крупность и содержание мелких фракций.

2. Провести лабораторный помол отобранных образцов и оценить качество полученной муки по основным технологическим показателям.

3. Определить гранулометрический состав муки методом ситового анализа и классифицировать распределение частиц по фракциям.

4. Установить взаимосвязь между показателями качества зерна, муки и гранулометрическим составом.

5. Выделить размерные характеристики частиц муки, предопределяющие её технологическую пригодность для хлебопекарного использования.

Научная новизна. Установлены корреляционные зависимости между показателями качества зерна тритикале и гранулометрическим составом полученной муки, оказывающим ключевое влияние на её целевое назначение. Полученные результаты обеспечивают научно обоснованный подход к выбору зернового сырья для переработки в муку заданного назначения.

Практическая значимость. Результаты иссле-

дования могут быть использованы при выборе сортов тритикале, наилучшим образом подходящих для переработки в муку заданного назначения, а также при разработке и оптимизации технологических схем сортового помола с учётом выравненности зерна по крупности.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись сортообразцы зерна озимых сортов тритикале - Таза, Азиада и Кожа, включённые в Государственный реестр селекционных достижений Республики Казахстан. Отбор образцов осуществлялся на основании предварительной оценки качества зерна, с учётом различий по крупности, что позволило использовать их в качестве репрезентативных для анализа влияния свойств исходного сырья на гранулометрический состав муки и её технологические показатели.

Методика исследования. Физико-химические характеристики зерна, включая массу 1000 зёрен, натуру, стекловидность, выравненность, крупность и содержание мелких фракций, определяли в соответствии с требованиями действующих ГОСТов: ГОСТ 10842-89, ГОСТ 13586.1-68 и ГОСТ 10940-64. Выравненность устанавливали, как суммарный процент схода с сит 2,8×20 мм и 2,5×20 мм; крупность - по содержанию зерна на сите 2,5×20 мм; содержание мелких фракций – по проходу через сита 2,0×20 и 1,8×20 мм.

Лабораторный помол зерна осуществляли на мельничной установке МЛУ-202. Показатели качества полученной муки определяли в соответствии с действующими методиками: влажность и зольность - по ГОСТ 9404-88, белизну - по ГОСТ 26361-201, клейковину и ИДК - по ГОСТ 27839-2013, число падения - по ГОСТ 30498-97. Крупность помола оценивали по сходу с сита № 43 с диаметром ячейки 160 мкм.

Гранулометрический состав муки определяли методом ситового анализа на лабораторном рассеве РЛ-3М с использованием капроновых сит размером 260, 190, 140, 125, 100, 80, 60, 50 и 40 мкм.

Результаты обрабатывали методами вариационной статистики с расчётом средних значений, стандартного отклонения и коэффициента вариации. Для установления взаимосвязей между фракционным составом муки и её технологическими характеристиками применяли корреляционный и регрессионный анализ.

В рамках проведённого исследования каждый эксперимент по ситовому анализу и лабораторному помолу выполнялся в трёх биологических и трёх технических повторах. Такая организация эксперимента позволила минимизировать случайные ошибки и обеспечить достоверность полученных данных.

Для ситового анализа использовался стандартный набор сит с размерами ячеек 80–500 мкм. Каждая проба зерна подвергалась помолу и последующему фракционированию не менее трёх раз, после чего усреднялись результаты. Для оценки воспроизводимости данных рассчитывались стандартные отклонения и коэффициенты вариации, которые составили не более 5–7% для основных показателей (массовая доля фракций 160–190 мкм и ≤ 80 мкм).

Таким образом, репликации обеспечили статистическую надёжность выводов, а приведённые показатели вариации подтверждают высокую точность методики. Это позволяет рассматривать установленные зависимости (корреляции и регрессионные уравнения) как воспроизводимые и практически значимые для дальнейшего применения в мукомольной промышленности.

Методика лабораторной выпечки опытных образцов хлеба:

1) сырьё и рецептуры (baker’s %, на 100 % муки):

- мука тритикале (фракции ≤ 80; 125- 100; 160 - 190 мкм) - 100 %.

- контроль 1 (пшеница мягкая) - 100 % пшеничной хлебопекарной муки.

- контроль 2 (рожь посевная) - 100 % ржаной обойной муки.

- прессованные дрожжи - 3,0 % (для ржи - 4,0 %).

- соль поваренная - 1,8 %.

- сахар-песок - 1,5 % (для унификации усло-

вий газообразования).

- растительное масло - 1,5 % (стабилизация крошки; для ржи не обязательно).

- вода - по поглотительной способности: до достижения 500 FU на фариографе (при его отсутствии: ориентировочно 62–64 % для пшеницы, 66-70 % для тритикале, 72-76 % для ржи). Фактическая дозировка фиксируется.

Все партии муки кондиционируют 24 ч при 20 ± 2 °C и 60 ± 5 % RH. Компоненты темперируют до 20-22 °C.

2) замес и брожение (прямая опара/прямой способ):

- машина: настольный месильник, скорость 1-я 2 мин + 2-я 6–8 мин (до развития клейковины/до однородности для ржи).

- температура теста на выходе: 26–28 °C (пшеница/тритикале), 28–30 °C (рожь).

- ферментация (bulk): 30 °C, 85 % RH, 60 мин (тритикале/пшеница), 40 мин (рожь).

- обминка (кроме ржи): 1 короткая обминка на 30-й минуте.

- деление: тестовые заготовки 450 ± 2 г; округление 10 мин отдыха.

- формование: в формы 180×110×90 мм, смазанные тонким слоем масла.

- окончательная расстойка: 30 °C, 85 % RH, до подъёма до 2/3 объёма формы (ориент.45-60 мин; для ржи 35–45 мин). Фиксируется фактическое время.

3) Для выпечки хлеба использовался печь подовая/шкафная с пароувлажнением. Температурный режим: 230 °C первые 10 мин с паром, далее 200-205 °C ещё 15-18 мин (итого 25–28 мин для 450 г заготовки). Охлаждение на решётке 60 мин при 22 ± 2 °C. Масса готового хлеба фиксируется для расчёта удельного объёма.

4) Удельный объём хлеба был определен следующим методом: рапсовое (просовидное) вытеснение по стандартной зерновой методике (аналог AACC 10-05/10-14; допускается VolScan Profiler — указать модель), объём буханки, V, см³; масса буханки, m, г (аналитические весы, 0,01 г). Удельный объём был определен по следующей формуле:

$$SV = mV \times 100 \ \text{ см}^3/100\,\text{г}$$

(здесь: каждая формула - n = 3 буханки (независимые выпечки); отчёт: среднее ± SD).

5) Оценка структуры мякиша: Визуально-сенсорная шкала: срез толщиной составлял 10 мм по центру буханки, шкала 1–5 (AACC/ГОСТ-подобная) составляла: равномерность пор, размер ячеек, тонкость стенок, эластичность. Итог - средний балл комиссии из 5-7 обученных оценщиков.

Таблица 1 – Физические показатели зерна тритикале

Сорт	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Стекловидность, %	Выравненность, %	Крупность (сход сита 2,5х20) %	Проход сита 2,2х20/ 1,7х20
Таза	37,8 ± 1,2 (CV 3,2%)	629 ± 3 (CV 0,9%)	62 ± 3 (CV 2,9%)	75,2 ± 1,8 (CV 2,2%)	81,6 ± 2,0 (CV 1,7%)	1,03 ± 0,06 (CV 3,1%)
Азиада	35,6 ± 1,0 (CV 3,1%)	612 ± 5 (CV 0,8%)	54 ± 4 (CV 2,6%)	72,2 ± 1,5 (CV 2,0%)	76,4 ± 2,3 (CV 1,5%)	1,26 ± 0,02 (CV 2,9%)
Кожа	35,4 ± 1,1 (CV 2,9%)	614 ± 4 (CV 0,8%)	32 ± 6 (CV 3,1%)	57,9 ± 1,7 (CV 1,9%)	52,0 ± 2,5 (CV 1,8%)	1,05 ± 0,07 (CV 2,8%)

Обсуждения и результаты. На первом этапе исследования была проведена оценка физико-химических характеристик, отобранных сортообразцов зерна тритикале. Полученные данные представлены в таблицах 1 и 2.

Анализ физических характеристик (табл.1) показал, что сорт Таза отличается наибольшей массой 1000 зёрен (37,8 г), высокой натурой (629 г/л) и наибольшей стекловидностью (62 %), что указывает на хорошую выполненность зерна. Сорта Азиада и Кожа имели меньшие значения массы и натуры, при этом у Кожи зарегистрирован наименьший уровень стекловидности (32 %). По показателям выравненности и крупности зерна преимущество также сохраняется за сортом Таза (75,2 % и 81,6 % соответственно), в то время как у Кожи отмечено наименьшее содержание крупной фракции (52,0 %) и наиболее выраженная неравномерность. Содержание мелких зерен, выраженное через проход сит 2,2×20 и 1,7×20 мм, оставалось на невысоком уровне у всех образцов, но было наибольшим у Азиады (1,26 %).

Таблица 2 – Химические показатели зерна тритикале

Сорт	Клейковина, % / ИДК	Белок, %	Крахмал, %	Сахара, %	Клетчатка, %	Жир, %	Зола, %
Таза	26,9 ± 0,7 (CV 1,3%) /88± 2,7 (CV 1,4%)	14,5 ± 0,8 (CV 1,2%)	54,3 ± 1,5 (CV 1,3%)	5,1 ± 0,9 (CV 0,7%)	8,6 ± 1,3 (CV 1,1%)	4,2 ± 0,5 (CV 1,0%)	2,00 ± 0,02 (CV 1,8%)
Азиада	22,8 ± 0,9 (CV 1,8%)/92 ± 2,5 (CV 1,6%)	12,8 ± 1,4 (CV 1,1%)	55,2 ± 1,2 (CV 0,9%)	4,6 ± 1,2 (CV 1,4%)	9,2 ± 1,5 (CV 0,9%)	5,6 ± 0,9 (CV 0,6%)	2,04 ± 0,05 (CV 1,6%)
Кожа	16,6 ± 0,6 (CV 1,4%)/ 103 ± 3,0 (CV 1,3%)	12,2 ± 1,0 (CV 0,5%)	53,7 ± 1,7 (CV 1,1%)	4,3 ± 1,8 (CV 1,2%)	9,2 ± 1,0 (CV 0,5%)	5,7 ± 1,0 (CV 0,4%)	2,10 ± 0,08 (CV 1,2%)

Результаты химического анализа зерна тритикале (табл.2) выявили существенные различия между сортами по содержанию клейковины и белка. Сорт Таза характеризовался наивысшей клейковиной (26,9 %) при оптимальной упругости (ИДК – 88), что свидетельствует о хорошем хлебопекарном потенциале. У сорта Азиада содержание в зерне клейковины составляло (22,8%) с удовлетворительной упругостью (ИДК - 92) у сорта Кожа наблюдалось снижение клейковины (до 16,6 %) и повышение ИДК до 103, что указывает на ослабленную клейковинную структуру. По содержанию крахмала и сахаров различия между сортами были незначительными. Повышенное содержание жира и клетчатки отмечено у сортов Азиада и Кожа, что может повлиять на технологические характеристики помола. Зольность увеличивалась от сорта Таза (2,01 %) к сорту Кожа (2,10 %), отражая нарастание количества оболочечных элементов.

В ходе исследования проведён лабораторный помол зерна отобранных сортов тритикале на мельничной установке МЛУ-202.

Чтобы объективно оценить возможности тритикалевой муки, были проведены сравнительные испытания с двумя распространенными культурами: мягкой пшеницей (Triticum aestivum L.) и рожью посевной (Secale cereale L.), которые широко применяются в мукомольном производстве.

Анализ показал, что по гранулометрическому составу мука из тритикале порой занимает промежуточную позицию между мукой пшеничной и ржаной. Например, содержание фракций раз-

мером 160–190 мкм в тритикале оказалось сходным с пшеничной мукой и превосходило таковое в ржаной муке, что указывает на ее хорошие хлебопекарные свойства. Содержание мелкодисперсных частиц размером до 80 мкм в тритикале превышало таковое в пшенице, однако оставалось ниже, чем в ржи, что благоприятно сказывается на технологических свойствах при применении в кондитерской промышленности.

Тритикале, являясь гибридом двух культур, наследует свойства обоих, при этом демонстрирует более сбалансированный гранулометрический состав, что открывает широкие перспективы его использования. Сравнительный анализ подтверждает реальный потенциал тритикалевой муки как достойной альтернативы традиционным видам муки в производстве хлебобулочных изделий, комбинированных мучных смесей и специализированных продуктов питания.

Оценка качества полученной муки также была направлена на установление взаимосвязей между физико-химическими свойствами исходного зерна и основными технологическими показателями муки. Сводные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Показатели качества муки из зерна тритикале и контрольных образцов

№	Показатель	Контрольные образцы		Сорта тритикале		
		мягкая пшеница (Triticum aestivum L.)	посевной рожь (Secale cereale L.)	Таза	Азиада	Кожа
1.	Влажность, %	13,4 ± 0,7 (CV 0,8%)	12,8 ± 0,2 (CV 0,6%)	14,6 ± 0,5 (CV 0,4%)	14,8 ± 0,4 (CV 0,9%)	15,0 ± 0,9 (CV 0,8%)
2.	Содержание сырой клейковины, %	27,6 ± 0,9 (CV 1,2%)	7,8 ± 0,9 (CV 1,1%)	28,2 ± 1,1 (CV 1,4%)	24,3 ± 1,5 (CV 1,1%)	17,8 ± 1,9 (CV 1,7%)
3.	Качество клейковины ИДК, ед. пр.	71 ± 4 (CV 1,8%)	225 ± 11 (CV 2,4%)	86 ± 5 (CV 1,7%)	90 ± 4 (CV 1,5%)	101 ± 2 (CV 0,9%)
4.	Крупность помола (сход с сита №43)	69,42 ± 1,56 (CV 1,7%)	62,84 ± 2,13 (CV 1,5%)	6,75 ± 0,22 (CV 1,4%)	10,25 ± 0,38 (CV 1,7%)	10,75 ± 0,29 (CV 1,1%)
5.	Зольность, %	0,63 ± 0,05 (CV 0,7%)	1,76 ± 0,04 (CV 0,3%)	0,78 ± 0,07 (CV 0,6%)	0,78 ± 0,06 (CV 0,8%)	0,86 ± 0,08(CV 0,9%)
6.	Число падения, с	305 ± 1,8 (CV 2,9%)	137,5 ± 2,8 (CV 1,4%)	116,3 ± 0,7 (CV 1,7%)	106 ± 1,8 (CV 2,1%)	90,3 ± 1,5 (CV 2,6%)
7.	Белизна усл. ед. РЗ-БПЛ	59,8 ± 0,7 (CV 1,4%)	43,8 ± 0,5 (CV 1,2%)	49,5 ± 0,4 (CV 1,5%)	47,8 ± 0,8 (CV 2,1%)	46,5 ± 1,2 (CV 1,9%)

Анализ результатов оценки качества муки (табл.3), полученной из зерна сортов тритикале Таза, Азиада и Кожа, показал существенные различия между сортами. Сорт Таза характеризуется наибольшим содержанием сырой клейковины (28,2 %) и оптимальным качеством (ИДК – 86 ед.), что свидетельствует о высоком хлебопекарном потенциале. У Азиады клейковина умерен-

ного уровня (24,3 %) с ИДК 90, указывающим на допустимое качество. У Кожи зафиксировано наименьшее содержание клейковины (17,8 %) и ИДК 101, что свидетельствует о сниженной эластичности и качестве.

По крупности помола мука сорта Таза имела наименьший сход с сита №43 (6,75 %), что указывает на более тонкий помол. Зольность у Тазы и Азиады одинакова (0,78 %), а у Кожи – выше (0,86 %), что коррелирует с пониженной белизной муки (46,5 ед.). Число падения снижалось в ряду Таза → Азиада → Кожа, отражая снижение ферментативной устойчивости.

Анализ взаимосвязей между физико-химическими показателями зерна тритикале и качеством муки

Проведённый корреляционный анализ показал наличие устойчивых статистических связей между отдельными физическими показателями зерна тритикале и характеристиками муки, полученной при лабораторном помоле. Установлена высокая положительная корреляция между массой 1000 зерен и содержанием клейковины в муке (r = 0,95), что свидетельствует о том, что более крупное и выполненное зерно способствует формированию муки с высоким содержанием клейковины. Стекловидность зерна положительно связана с числом падения муки (r = 0,89), отражая повышенную амилолитическую устойчивость при большей плотности эндосперма.

Наблюдается обратная зависимость между крупностью зерна и белизной муки (r = –0,85), что обусловлено участием фракций с более высоким содержанием оболочек. Между зольностью зерна и зольностью муки зафиксирована сильная положительная связь (r = 0,92), подтверждающая, что исходное сырьё с высоким содержанием минеральных веществ ведёт к увеличению зольности продукта.

Таблица 4 - Гранулометрическое распределение муки из зерна тритикале по размерам частиц (%, CV)

Размеры частиц муки, мкм	Сорта тритикале					
	Таза		Азиада		Кожа	
	%	CV, %	%	CV, %	%	CV, %
260	11,48 ± 3,27	7,79	12,30 ± 1,42	5,88	12,25 ± 1,6	2,18
190	14,08 ± 0,12	4,31	13,50 ± 1,97	4,1	13,53 ± 1,4	3,46
160	20,25 ± 0,74	2,44	20,98 ±1,8	1,66	20,93 ± 2,3	1,13
125	11,40 ± 1,0	4,13	10,65 ± 1,97	5,09	10,73 ± 1,9	6,94
100	8,30 ± 0,55	3,62	7,75 ± 0,48	4,22	8,45 ± 0,41	4,56
80	7,33 ± 2,85	43,05	5,38 ± 0,2	32,92	5,15 ± 1,64	26,31
60	5,28 ± 1,94	10,64	6,48 ± 2,58	7,17	5,83 ± 0,35	1,63
50	13,38 ± 1,5	25,39	14,38 ± 1,6	614	15,18 ± 0,94	6,64
40	7,93 ± 0,63	8,08	8,13 ± 1,1	7,89	8,98 ± 1,43	10,34

Линейные уравнения регрессии, описывающие эти зависимости, подтверждают полученные выводы и позволяют прогнозировать показатели муки по характеристикам зерна. Например,

1. Y_1 (Клейковина, %) = $1,25 \cdot X_1$ (Масса 1000 зёрен, г) – 18,5

2. Y_2 (Число падения, с) = $1,8 \cdot X_2$ (Стекловидность, %) + 20,3

3. Y_3 (Белизна, усл. ед.) = $–0,9 \cdot X_3$ (Крупность,

%) + 60,7

Полученные зависимости могут служить основой для прогнозной оценки технологической пригодности зерна тритикале и оптимизации условий его переработки в муку различного назначения.

Следующим этапом исследования стало определение гранулометрического состава муки, полученной из зерна исследуемых сортов тритикале. Распределение частиц по размерам на основе ситового анализа отражено в таблице 4.

Анализ гранулометрического состава муки (табл.4), полученной из зерна тритикале, выявил преобладание частицы размером 160 и 190 мкм, доля которых составляет 33,6 – 34,5 %. Эти фракции соответствуют требованиям к хлебопекарной муке согласно ТНПА. Фракции 125 – 100 мкм (среднее 19,7 %) обеспечивают оптимальные реологические свойства теста. Доля частиц ≤ 80 мкм варьирует от 13,3 до 14,8 % и характерна для муки, пригодной для кондитерского производства. Наиболее равномерное распределение частиц зафиксировано у сорта Кожа, что подтверждается низкими значениями коэффициентов вариации.

На основе корреляционного анализа между физическими характеристиками зерна тритикале и гранулометрическим составом муки установлены следующие зависимости:

Высокая положительная корреляция между выравненностью зерна и содержанием фракций 160–190 мкм (r = 0,995) свидетельствует о том, что однородность зернового материала способствует формированию муки с преобладанием частиц, оптимальных для хлебопечения. В то же время отрицательная зависимость между выравненностью и долей фракции ≤ 80 мкм (r = −0,993) указывает на то, что неоднородное зерно увеличивает содержание мелких частиц, характерных для кондитерской муки.

Содержание мелких зёрен в партии положительно связано с долей фракции 160 мкм (r = 0,999) и обратно - с фракцией ≤ 80 мкм (r = -0,999), что подчёркивает влияние исходного зернового материала на распределение частиц в готовом продукте.

Крупность помола по остатку на сите № 43 обратно коррелирует с фракцией 160 мкм (r = -0,999) и прямо - с фракцией ≤ 80 мкм (r = 0,999), отражая закономерности фракционного измельчения.

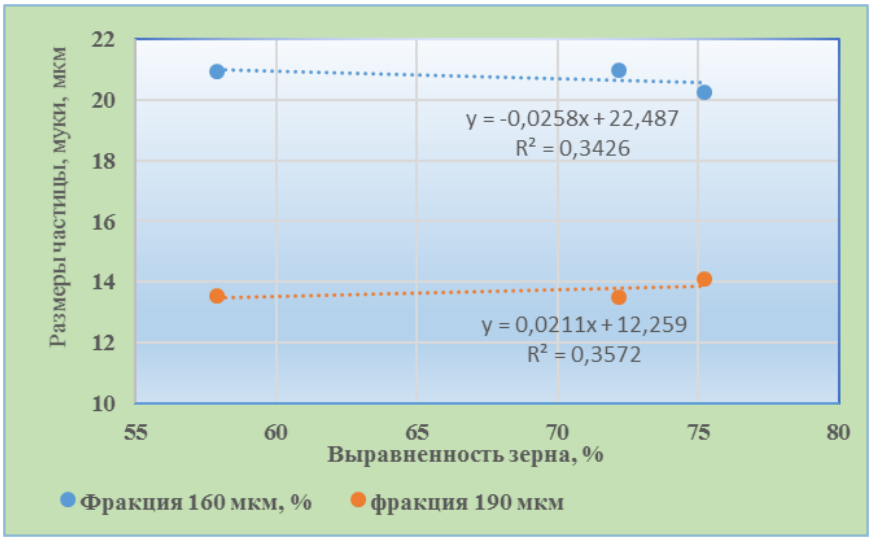


Рис.1 - Зависимость содержания в муке фракций с размером частиц 160 - 190 мкм от выравненности зерна тритикале

Графическое представление зависимости между физическими показателями зерна тритикале и гранулометрическим составом муки представлено на рисунках 1 и 2.

Рисунок 1 иллюстрирует характер связи между выравненностью зерна тритикале и содержанием фракций муки с размером частиц 160 и 190 мкм. По результатам регрессионного анализа установлены следующие зависимости:

- для фракции 160 мкм: $y = –0,0258x + 22,487$ ($R^2 = 0,3426$);

- для фракции 190 мкм: $y = 0,0211x + 12,259$ ($R^2 = 0,3572$).

Полученные модели указывают на наличие слабой линейной зависимости, отражающей тенденцию снижения доли фракции 160 мкм и роста содержания фракции 190 мкм с увеличением выравненности зерна.

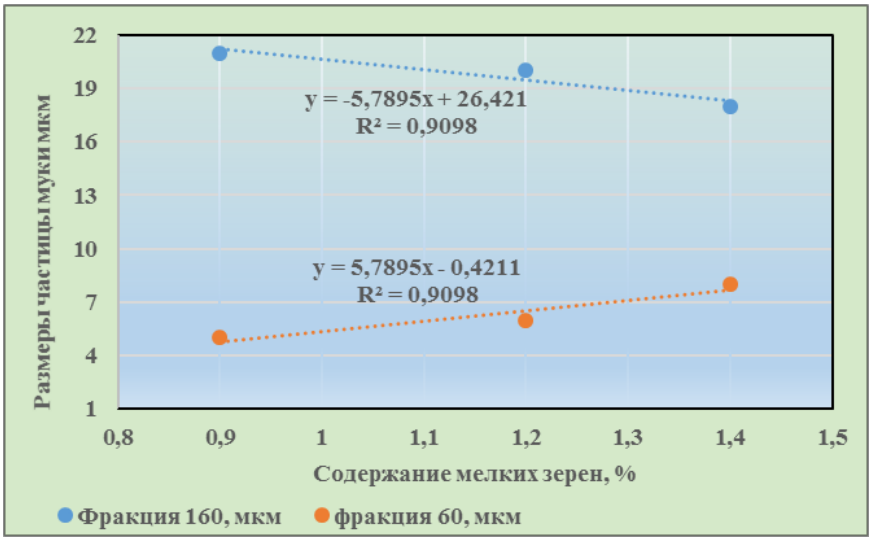


Рис.2 - Зависимость содержания фракций муки с размером частиц 160 и 60 мкм от содержания мелких зерен в исходном зерне тритикале

Таблица 5 – Влияние фракционного состава муки тритикале и контрольных образцов на хлебопекарные свойства

Фракция муки (размер, мкм)	Удельный объём хлеба, $см^3/100$ г муки	Структура мякиша	Основное назначение
Тритикале 160–190	430–450	Равномерная порис-тость, эластичность	Хлебопекарное производство
Тритикале 125–100	380–400	Мелкая пористость, умеренная пластич-ность	Диетический хлеб
Тритикале ≤ 80	300–320	Плотная структура, низкая газоудержи-вающая способность	Кондитерские изделия (печенье, пряники)
Пшеница (контроль)	480–520	Хорошо развитая пористость, эластич-ный и воздушный мякиш	Основное хлебопекарное сырьё
Рожь (контроль)	280–320	Плотная, мелкопорис-тая структура, слабая эластичность	Ржаной хлеб, хлебцы, специализированные изделия

Рисунок 2 иллюстрирует направленные зависимости между содержанием мелких зерен в исходном зерне тритикале и долей фракций муки с размером частиц 160 и 60 мкм. При увеличении доли мелких зерен наблюдается снижение содержания фракции 160 мкм (r = –0,999) и одновременное увеличение фракции 60 мкм (r = +0,999), что отражено в уравнениях линейной регрессии. Полученные зависимости указывают на существенное влияние зернового состава на формирование гранулометрических характеристик муки.

Эти зависимости могут быть использованы для прогнозирования гранулометрического состава муки на основе характеристик исходного зерна, что важно для оптимизации технологических процессов в мукомольной промышленности.

Для экспериментальной проверки влияния различных фракций муки тритикале были проведены лабораторные выпечки опытных образцов хлеба. В исследовании использовались фракции размером 160-190 мкм, 125-100 мкм и ≤ 80 мкм, выделенные из сортов Таза, Азиада и Кожа.

Из данных таблицы 5 видно, что:

- мука тритикале с преобладанием фракций 160–190 мкм обеспечивала наибольший удельный объём хлеба (в среднем 430-450 см³/100 г муки), равномерную пористость и эластичный мякиш. Эти показатели сопоставимы с контрольными значениями для пшеничной хлебопекарной муки;

- фракции муки тритикале 125-100 мкм обеспечивали формирование теста с повышенной пластичностью, однако объём хлеба был ниже (380–400 см³/100 г муки). Структура мякиша оставалась достаточно равномерной, но с более мелкой пористостью, что соответствует требованиям для производства диетических сортов хлеба;

- фракции ≤ 80 мкм характеризовались низким объёмом хлеба (300-320 см³/100 г муки) и плотной структурой мякиша. Такие образцы оказались более подходящими для кондитерских изделий (печенье, пряники), где высокая газоудерживающая способность теста не требуется;

- пшеница демонстрирует наибольший удельный объём (480-520 см³/100 г муки) и лучшую структуру мякиша, поэтому остаётся эталоном хлебопекарной муки;

- рожь характеризуется более плотным и менее эластичным мякишем, объём ниже (280–320 см³/100 г), однако она имеет высокую питательную ценность и традиционно используется для ржаного хлеба.

Таким образом подтверждается, что фракции 160-190 мкм вносят основной вклад в улучшение хлебопекарных свойств, более мелкие фракции (< 125 мкм) могут быть эффективно использованы в кондитерском производстве, а сорт Кожа показал наилучшие результаты по стабильности объёма и однородности структуры хлеба, что подтверждает выводы по его фракционному составу.

Выводы. Проведённый корреляционно-регрессионный анализ выявил значимые зависимости между качественными характеристиками зерна тритикале и гранулометрическим составом полученной из него муки. Высокая выравненность и низкое содержание мелких зерен способствуют увеличению доли фракций размером 160-190 мкм, соответствующих требованиям к хлебопекарной муке. Сорта Таза и Азиада продемонстрировали преобладание этих фракций на уровне 33,6-34,5 %, что указывает на их перспективность для хлебопечения. Доля частиц ≤ 80 мкм варьирует в пределах 13,3-14,8 % и характерна для муки, применяемой в кондитерской промышленности. Наиболее равномерное распределение частиц установлено у сорта Кожа, о чём свидетельствуют минимальные значения коэффициентов вариации. Построенные уравнения линейной регрессии позволяют прогнозировать гранулометрический состав муки на основе физико-технологических параметров исходного зерна, что важно для оптимизации процессов переработки.

Финансирование. *Исследование проведено в рамках научно-технической программы Министерства сельского хозяйства Республики Ка-*

захстан № BR22886613 «Разработка инновационных технологий по переработке и хранению сельскохозяйственной растениеводческой продукции и сырья» (проект №9-2024/2026 «Разработка инновационной технологии хранения и переработки различных сортов тритикале в высокоэффективную продукцию зерноперерабатывающей отрасли»).

Литература

1. Панкратов Г.Н. Гранулометрический состав продуктов размола // Хлебопродукты.- 2015. - № 5. - С.46-49.

2. Hu X., Xu T., Bu J., Cheng L., Wang T. Impact of particle size distribution and morphology of starch on microstructural–functional changes of dough // LWT. - 2025.- Vol. 215:117251. DOI 10.1016/j.lwt.2024.117251.

3. Pattison A. L., Trethowan R. M. Characteristics of modern triticale quality: commercially significant flour traits and cookie quality. // Crop and Pasture Science.- 2013.-Vol.64(9). - P.874. DOI 10.1071/cp13056.

4. Zhanabayeva K.K., Zhamalova D., Ruchkina G., Chernyavskaya O., Ongarbayeva N. Biochemical characteristics of triticale flour formed from separate fractions on grinding grain of Kazakhstan selection. // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. -2020.- Vol.12 (6). - P.709-711. DOI 10.5373/JARDCS/V12I6/S20201084.

5. Жанабаева К.К., Онгарбаева Н., Рукшан Л.В. Исследование гранулометрического состава и качества муки из тритикала казахстанской селекции. // Вестник МГУП - 2018. - №2(25) -С.65-70.

6. Korzhenivska A., Danylenko S. Study of technological properties of rye and wheat flour. Human and Nation’s Health. - 2024. - Vol.2024(2). DOI 10.31548/humanhealth.2.2024.16.

7. Tohver M. Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in northern conditions. // Food Chemistry.- 2005.- Vol. 89(1).- P.125-132. DOI 10.1016/j.foodchem.2004.01.079

8. Zhanabayeva K.K., Ongarbayeva N.O., Ruchkina G.A., Yesseyeva G.K., Smolyakova V.L. Features of technological properties of triticale grain of Kazakhstan’ s selection. // Journal of Engineering and Applied Sciences.-2018.-Vol.13 (10). - P.8292–829.

9. Martinek P., Vinterová M., Burešová I., Vyhnánek T. Agronomic and quality characteristics of triticale (X Triticosecale Wittmack) with HMW glutenin subunits 5+10. // Journal of Cereal Science. - 2008.- Vol.47(1).- P.68-78. DOI 10.1016/j.jcs.2007.02.003.

10. Tian X., Wang X., Wang Z., Sun B., Wang F., Ma S., Gu Y., Qian X. Particle size distribution control during wheat milling: nutritional quality and functional basis of flour products—a comprehensive review. // International Journal of Food Science & Technology.- 2022.- Vol.58 (12). - P.5-18. DOI 10.1111/ijfs.16120.

11. Guo L., Chen H., Zhang Y., Yan S., Chen X., Gao X. Starch granules and their size distribution in wheat: Biosynthesis, physicochemical properties and their effect on flour-based food systems. // Computational and Structural Biotechnology Journal.-2023.-Vol.21.-P.4172-4186. DOI 10.1016/j.csbj.2023.08.019.

12. Ghendov-Mosanu A., Popa N., Paiu S., Boestean O., Bulgaru V., Leatamborg S., Lupascu G., Codină G.G. Breadmaking Quality Parameters of Different Varieties of Triticale Cultivars. // Foods. -2024.- Vol.13(11):1671. DOI 10.3390/foods13111671.

13. Kaszuba J., Woś H., Shchipak G. V. Bread making quality parameters of some Ukrainian and Polish triticale cultivars. // Euphytica. -2024.-Vol.220(2). DOI 10.1007/s10681-023-03272-4.

14. Kaszuba J., Czyż M., Cebulak T., Pycia K. Assessment of the Suitability of Flour Obtained from Mountain Rye Grain Milling and the Method of Dough Fermentation for the Production of Rye Bread. // Foods. -2024. -Vol.13(19):3035. DOI 10.3390/foods13193035.

15. Dziki D., Krajewska A., Findura P. Particle Size as an Indicator of Wheat Flour Quality: A Review. // Processes.- 2024.-Vol.12(11):2480. DOI 10.3390/pr12112480.

16. Jańczak-Pieniążek M., Kaszuba J. The Influence of Agrotechnical Factors on the Yield and Quality Parameters of Winter Triticale Grain. // Agriculture. -2024. -Vol.14(12):2219. DOI 10.3390/agriculture14122219.

References

1. Pankratov G.N. Granulometricheskij sostav produktov razmola // Hleboprodukty.- 2015. - № 5. - S.46-49.[in Russian]

2. Hu X., Xu T., Bu J., Cheng L., Wang T. Impact of particle size distribution and morphology of starch on microstructural–functional changes of dough // LWT. - 2025.- Vol. 215:117251. DOI 10.1016/j.lwt.2024.117251.

3. Pattison A. L., Trethowan R. M. Characteristics of modern triticale quality: commercially significant flour traits and cookie quality. // Crop and Pasture Science.- 2013.-Vol.64(9). - P.874. DOI 10.1071/cp13056.

4. Zhanabayeva K.K., Zhamalova D., Ruchkina G., Chernyavskaya O., Ongarbayeva N. Biochemical characteristics of triticale flour formed from separate fractions on grinding grain of Kazakhstan selection. // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. -2020.- Vol.12 (6). - P.709-711. DOI 10.5373/JARDCS/V12I6/S20201084.

5. Zhanabaeva K.K., Ongarbaeva N., Rukshan L.V. Issledovanie granulometricheskogo sostava i kachestva muki iz tritikala kazahstanskoj selekcii. // Vestnik MGUP - 2018. - №2(25) -S.65-70.[in Russian]

6. Korzhenivska A., Danylenko S. Study of technological properties of rye and wheat flour. Human and Nation’s Health. - 2024. - Vol.2024(2). DOI 10.31548/humanhealth.2.2024.16.

7. Tohver M. Quality of triticale cultivars suitable for growing and bread-making in northern conditions. // Food Chemistry.- 2005.- Vol. 89(1).- P.125-132. DOI 10.1016/j.foodchem.2004.01.079

8. Zhanabayeva K.K., Ongarbayeva N.O., Ruchkina G.A., Yesseyeva G.K., Smolyakova V.L. Features of technological properties of triticale grain of Kazakhstan’ s selection. // Journal of Engineering and Applied Sciences.-2018.-Vol.13 (10). - P.8292–829.

9. Martinek P., Vinterová M., Burešová I., Vyhnánek T. Agronomic and quality characteristics of triticale (X Triticosecale Wittmack) with HMW glutenin subunits 5+10. // Journal of Cereal Science. - 2008.- Vol.47(1).- P.68-78. DOI 10.1016/j.jcs.2007.02.003.

10. Tian X., Wang X., Wang Z., Sun B., Wang F., Ma S., Gu Y., Qian X. Particle size distribution control during wheat milling: nutritional quality and functional basis of flour products—a comprehensive review. // International Journal of Food Science & Technology.- 2022.- Vol.58 (12). - P.5-18. DOI 10.1111/ijfs.16120.

11. Guo L., Chen H., Zhang Y., Yan S., Chen X., Gao X. Starch granules and their size distribution in wheat: Biosynthesis, physicochemical properties and their effect on flour-based food systems. // Computational and Structural Biotechnology Journal.-2023.-Vol.21.-P.4172-4186. DOI 10.1016/j.csbj.2023.08.019.

12. Ghendov-Mosanu A., Popa N., Paiu S., Boestean O., Bulgaru V., Leatamborg S., Lupascu G., Codină G.G. Breadmaking Quality Parameters of Different Varieties of Triticale Cultivars. // Foods. -2024.-Vol.13(11):1671. DOI 10.3390/foods13111671.

13. Kaszuba J., Woś H., Shchipak G. V. Bread making quality parameters of some Ukrainian and Polish triticale cultivars. // Euphytica. -2024.-Vol.220(2). DOI 10.1007/s10681-023-03272-4.

14. Kaszuba J., Czyż M., Cebulak T., Pycia K. Assessment of the Suitability of Flour Obtained from Mountain Rye Grain Milling and the Method of Dough Fermentation for the Production of Rye Bread. // Foods. -2024. -Vol.13(19):3035. DOI 10.3390/foods13193035.

15. Dziki D., Krajewska A., Findura P. Particle Size as an Indicator of Wheat Flour Quality: A Review. // Processes.- 2024.-Vol.12(11):2480. DOI 10.3390/pr12112480.

16. Jańczak-Pieniążek M., Kaszuba J. The Influence of Agrotechnical Factors on the Yield and Quality Parameters of Winter Triticale Grain. // Agriculture. -2024. -Vol.14(12):2219. DOI 10.3390/agriculture14122219.

Сведения об авторах

Онгарбаева Н.- доктор технических наук, профессор, АО «Алматинский технологический университет», гАлматы, Казахстан.,e-mail: o.nurlaim@mail.ru;

Изтаев А.- доктор технических наук, профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: auelbekking@mail.ru;

Киябаева А.Т.- магистр, докторант, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: niipt@atu.kz;

Якияева М.А. -доктор философии (Ph.D), ассоциированный профессор, АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail: yamadina88@mail.ru;

Нургожина Ж. К. - доктор философии (Ph.D), АО «Алматинский технологический университет», Алматы, Казахстан, e-mail juldyz_900@mail.ru.

Information about authors

Ongarbayeva N.- Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: o.nurlaim@mail.ru;

Iztayev A.- Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: auelbekking@mail.ru;

Kiyabayeva A.- master, doctoral student, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: niipt@atu.kz;

Yakiyayeva M.- Doctor of Philosophy (Ph.D), associated professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: yamadina88@mail.ru;

Nurgozhina Zh.- Doctor of Philosophy (Ph.D), JSC ”Almaty Technological University”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: juldyz_900@mail.ru

МРНТИ 65.53.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1151**

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЭКСТРУЗИОННЫХ ЗЕРНОВЫХ ЧИПСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ ДИКОРАСТУЩИХ РАСТЕНИЙ

[1]А.К. Изембаева, [2]Э.Б.Аскарбеков, [1]З.Н. Молдақұлова, [3]Қ.С. Қойланов, [1]Т.Б. Ахлан, [1]М. Байғайыпқызы

[1]Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3]Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства, Алматинская область, село Алмалы бақ, Казахстан
Корреспондент-автор: asel_19.01.83@mail.ru

Одним из приоритетных направлений современной пищевой индустрии является разработка технологий и расширение ассортимента функциональных пищевых продуктов, способствующих поддержанию здоровья человека. Наиболее перспективное направление в решении проблемы обогащение натуральными биологически активными веществами пищевых продуктов, что позволит проводить коррекцию рациона широких слоев населения. В этой связи представляется актуальной разработка технологии получения экструзионных зерновых чипсов с использование концентратов из дикорастущих растений Казахстана, способствующие созданию функциональных и экологически безопасных продуктов. В результате экспериментальных исследований химического состава и показателей безопасности экструзионных зерновых чипсов с использованием концентратов из дикорастущих растений установлено, что содержание белка в чипсах с концентратом из шиповника уменьшилось на 5,97 %, в чипсах с концентратом из боярышника – на 6,78 % в сравнении с контрольным образцом. Содержание жира уменьшилось, соответственно, на 16,37 и 12,83 %, содержание углеводов уменьшилось – на 2,18 и 2,77 %. В экструзионных зерновых чипсах установлены содержание полифенола, β-каротина и флавоноидов, тогда как в контрольном образце содержание этих основных БАВ не обнаружено. Полученные экструзионные зерновые чипсы с использованием концентратов из дикорастущих растений по показателям безопасности требованиям ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». Разработанные экструзионные зерновые чипсы с использование концентратов из дикорастущих растений открывают новые возможности для расширения ассортимента функциональных продуктов питания, соответствующих тренду здорового питания.

Ключевые слова: экструзия, зерновые чипсы, качества, концентраты, пищевая ценность.

ЖАБАЙЫ ӨСІМДІКТЕРДІҢ КОНЦЕНТРАТТАРЫН ПАЙДАЛАНАТЫН ЭКСТРУЗИЯЛЫҚ ДӘНДІК ЧИПСАЛАРДЫҢ САПАСЫН ЗЕРТТЕУ

[1]А.К. Изембаева, [2]Э.Б. Аскарбеков, [1]З.Н. Молдақұлова, [3]Қ.С. Қойланов, [1]Т.Б. Ахлан, [1]М. Байғайыпқызы

[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Алматы облысы, Алмалы бақ ауылы, Қазақстан,
e-mail: asel_19.01.83@mail.ru

Заманауи тамақ өнеркәсібінің басты бағыттарының бірі – адам денсаулығын сақтауға көмектесетін функционалдық тамақ өнімдерінің ассортиментін кеңейту және технологияларды дамыту. Мәселені шешудегі ең перспективалы бағыты – халықтың қалың топтарының диетасын түзетуге мүмкіндік беретін табиғи биологиялық белсенді заттармен азық-түлік өнімдерін байыту. Осыған байланысты функционалды және экологиялық таза өнімдерді жасауға ықпал ететін Қазақстанның жабайы өсімдіктерінен концентраттарды пайдалана отырып, экструзиялық дәндік чипсаларды алу

технологиясын әзірлеу өзекті. Жабайы өсімдіктерден алынған концентраттарды пайдалана отырып, экструзияланған дәнді чипсылардың химиялық құрамы мен қауіпсіздік көрсеткіштерін эксперименттік зерттеу нәтижесінде итмұрын концентраты қосылған чипсалардың ақуыз мөлшері бақылау үлгісімен салыстырғанда 5,97%-ға, долана концентраты қосылған чипсаларда 6,78%-ға төмендегені анықталды. Майдың мөлшері сәйкесінше 16,37 және 12,83%-ға, көмірсулар мөлшері 2,18 және 2,77%-ға төмендеді. Экструзияланған дәнді чипсалар полифенол, β-каротин және флавоноидтар бар екені анықталды, ал бақылау үлгісінде бұл негізгі биологиялық белсенді заттар жоқ. Жабайы өсімдіктерден алынған концентраттарды қолдану арқылы алынған экструзияланған дәнді чипсалар Кеден одағының «Азық-түлік өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» 021/2011 Техникалық регламентінің ТР КО қауіпсіздік талаптарына сәйкес келеді. Жабайы өсімдіктерден алынған концентраттарды қолданып әзірленген экструзияланған дәнді чипсалар салауатты тамақтану трендіне сәйкес келетін функционалды тамақ өнімдерінің ассортиментін кеңейту үшін жаңа мүмкіндіктер ашады.

Түйін сөздер: экструзия, дәнді чипса, сапасы, концентраттары, тағамдық құндылығы.

STUDY OF QUALITY OF EXTRUSION GRAIN CHIPS USING CONCENTRATES FROM WILD PLANTS

[1]A.K. Izembayeva, [2]E.B. Askarbekov, [1]Z.N. Moldakulova, [3]K.S. Koylanov, [1]T.B. Akhlan, [1]M. Baigaiypkyzy

[1]Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
[2]K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[3]Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing, Almaty region, Almaly bak village, Kazakhstan,
e-mail: asel_19.01.83@mail.ru

One of the priority areas of the modern food industry is the development of technologies and expansion of the range of functional food products that help maintain human health. The most promising direction in solving the problem is enrichment of food products with natural biologically active substances, which will allow for the correction of the diet of wide sections of the population. In this regard, it seems relevant to develop a technology for obtaining extruded grain chips using concentrates from wild plants of Kazakhstan, which contributes to the creation of functional and environmentally friendly products. As a result of experimental studies of the chemical composition and safety indicators of extruded grain chips using concentrates from wild plants, it was found that the protein content in chips with rosehip concentrate decreased by 5.97%, in chips with hawthorn concentrate - by 6.78% compared to the control sample. The fat content decreased, respectively, by 16.37 and 12.83%, the carbohydrate content decreased - by 2.18 and 2.77%. The extruded grain chips were found to contain polyphenol, β-carotene and flavonoids, while the control sample did not contain these main biologically active substances. The obtained extruded grain chips using concentrates from wild plants meet the safety requirements of TR CU 021/2011 Technical Regulations of the Customs Union ”On the Safety of Food Products”. The developed extruded grain chips using concentrates from wild plants open up new opportunities for expanding the range of functional food products that meet the healthy eating trend.

Key words: extrusion, grain chips, qualities, concentrates, nutritional value.

Введение. В настоящее время значительная часть растительного сырья, используемого при производстве продуктов питания, подвергается экструдированию. Достоинством этой технологии является радикальное изменение структуры сырья, его физических свойств и питательной ценности, а также химического состава в процессе обработки. Экструзионная обработка растительного сырья – это экологически безопасный способ обработки, позволяющий получить комбинированные продукты с заданной питательной ценностью и функциональными свойствами. Учитывая, что экструзионная обработка может осуществляться при различных режимах,

ее с успехом можно применять при создании комбинированных продуктов, обогащая их белком, витаминами, микроэлементами и функциональными добавками. Кратковременность экструзионной обработки позволяет максимально сохранить термонестабильные элементы (витамины, белки). Стерилизация сырья в процессе экструзионной обработки способствует повышению санитарного состояния и увеличению сроков хранения готовых изделий и уничтожению микрофлоры [1-4].

В настоящее время наше отношение к приемам пищи претерпевает изменения. В современной жизни постоянно не хватает времени, и питание приходится совмещать с работой, семейными обязанностями и общественными делами. На традиционные приемы пищи за обеденным столом в переполненном дне потребителей не остается времени, поэтому они все чаще склоняются к быстрому и удобному перекусу. Увеличивается спрос на продукцию, отвечающую требованиям быстрого питания. Темп жизни ускоряется и люди все чаще вынуждены перекусывать на ходу. Это не является здоровой тенденцией, но она неизбежна. И поэтому, появляется необходимость сделать продукт, который был бы максимально питательным и при этом наносящий как можно меньший вред здоровью. С этой целью было решено разработать альтернативный вид чипсов. Чипсы привлекательны тем, что имеют очень удобную компактную форму. Это позволяет брать чипсы с собой куда угодно [5-7].

Альтернативные виды чипсов предлагают более здоровые варианты, чем традиционные картофельные чипсы, обжаренные в масле. Они могут быть изготовлены из различных овощей, фруктов, бобовых или других продуктов, и предназначаться для тех, кто следит за питанием или имеет определенные диетические ограничения [8]. Процесс производства может варьироваться в зависимости от используемого сырья, но обычно включает в себя следующие этапы - подготовку сырья, обработку, приправу (чипсы могут быть приправлены солью, специями или другими вкусовыми добавками) и упаковку.

Виды альтернативных чипсов:

- чипсы из овощей: морковь, свекла, батат, пастернак, репа и другие овощи могут быть нарезаны тонкими ломтиками и обжарены или запечены до хрустящего состояния;

- фруктовые чипсы: яблоки, бананы, ананасы и другие фрукты могут быть высушены или обжарены, чтобы создать сладкие и хрустящие чипсы;

- бобовые чипсы: чечевица, нут, горох и другие бобовые могут быть переработаны в чипсы, обеспечивая высокое содержание белка и клетчатки;

- злаковые чипсы: кукурузные, рисовые или другие злаковые чипсы могут быть приготовлены путем экструзии или обжарки;

- ореховые чипсы: миндаль, кешью, грецкие орехи и другие орехи могут быть тонко нарезаны и обжарены, чтобы получить хрустящую закуску.

Основным фактором, необходимым для здорового образа жизни каждого человека, является правильное питание. Исследования в области диетологии показывают, что замена части несбалансированного рациона питания полноценными продуктами на основе растительного сырья, в том числе с использованием функциональных ингредиентов при производстве продукции, может способствовать продлению продолжительности жизни человека [9,10]. В современных условиях жизни человека невозможно адекватное обеспечение потребности организма всеми необходимыми для поддержания его жизнедеятельности пищевыми и минорными биологически активными компонентами за счет традиционного питания. Необходимы альтернативные источники, к которым относятся дикорастущие растения. Они являются богатейшими источниками витаминов, углеводов, жиров, белков, органических кислот (лимонной, яблочной и др.), ароматических веществ, антиоксидантов, в которых испытывает острую потребность организм человека. Однако в настоящее время они неоправданно мало используются в качестве природных источников биологиче-

ски активных веществ (БАВ) при производстве функциональных пищевых продуктов [11-13].

Таким образом, очевидна необходимость разработки технологий экструзионных продуктов питания с использованием дикорастущих растений Казахстана, способствующие созданию функциональных и экологически безопасных продуктов.

Новизна исследования заключается в применении концентратов шиповника и боярышника, разработке безопасных и обогащённых пищевых компонентов, а также использовании экструзионных технологий для создания функциональных продуктов с улучшенными питательными и биологически активными свойствами.

Материалы и методы. Объектами исследования в данной работе являлись экстракты, полученные из плодов шиповника и боярышника методом ультразвукового воздействия в ультразвуковой ванне ”Сапфир” при частоте ультразвуковых волн 40кГц, времени экстракции 30-45 минут, температуре 50 ^{0}С, затем полученные экстракты концентрировали методом вакуумного упаривания, используя аппарат марки IKA RV-10 при режиме 40-50 ^{0}С и давлении 800 мбар [14,15] .

В ходе исследования определяли следующие показатели: содержание полифенола по ГОСТ Р55488-2013, β-каротина – по ГОСТ 54058-2010, содержание флавоноидов - по ГОСТ Р 55312-2012.

Процесс получения зерновых чипсов состоял из следующих операций:

- подготовка зерна: выбор и очистка зерна (пшеница, кукуруза, рис и т.д.), измельчение зерна до необходимой фракции, приготовление зерновой массы (смешивание с водой), доводят до влажности 18-20%;

- формование чипсов: экструзия зерновой массы при температуре 260-280^{0}С в пресс-формах, формование путем вырезки из листа;

- внесение добавок (концентраты, порошок, сухие овощи);

- запекание: запекание в печи при температуре 140-150°С в течении 10 минут;

- добавление вкусовых добавок: нанесение специй, ароматизаторов;

- охлаждение и упаковка чипсов.

Содержание белка определяли по ГОСТ 10846-91. Сущность метода заключается в минерализации органического вещества серной кислотой в присутствии катализатора с образованием сульфата аммония, разрушении сульфата аммония щелочью с выделением аммиака, отгонке аммиака водяным паром в раствор серной или борной кислоты с последующим титрованием.

При отгонке аммиака в раствор серной кислоты содержание азота (Л1,) при фактической влажности в процентах вычисляют по формуле

$$x_2 = \frac{(V_0 - V_1) \cdot K \cdot 0,0014 \cdot 100}{m}$$

где m - масса навески, г;

V_0 - объем 0.1 моль/дм^3 раствора гидроокиси натрия, пошедшего на титрование 0.05 моль/дм^3 серной кислоты в «холостом» определении, см^3;

V_1 - объем 0.1 моль/дм^3 раствора гидроокиси натрия, пошедшего на титрование 0.05 моль/дм^3 серной кислоты в анализируемом растворе, см^3;

К - поправка к титру 0.1 моль/дм^3 раствора гидроокиси натрия:

0.0014 - количество азота, эквивалентное 1 см3 0,05 моль/дм^3 раствора серной кислоты, г.

Массовую долю жира по ГОСТ 29033-91, Сущность метода заключается в извлечении сырого жира из продукта растворителем, последующем удалении растворителя, высушивании и взвешивании извлеченного жира. Массовую долю жира в каждой навеске продукта в процентах в пересчете на сухое вещество вычисляют по формуле

$$X = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 100 \cdot 100}{m \cdot (100 - W)}$$

где m - масса пробы продукта, г;

m_1 - масса пустой колбы, г;

m_2 - масса колбы с жиром, г;

W - влажность продукта, %.

Содержание углеводов определяли перманганатометрическим методом. Этот метод основан на окислении углеводов раствором перманганата калия в кислой среде. Перманганатометрия – это титриметрический метод, то есть, основанный на измерении объема раствора реагента, необходимого для завершения реакции. В данном случае, перманганат калия (KMnO4) выступает в роли окислителя, а углеводы, содержащиеся в образце, окисляются, и по количеству израсходованного перманганата можно рассчитать содержание углеводов.

Количество токсичных элементов (кадмия, свинца) устанавливается инверсионно-вольтамперометрическим (ИВ) методом по ГОСТ Р 51301-99.

Содержание ртути определяется колориметрическим методом по ГОСТ 26927-86. Содержание мышьяка определяется колориметрическим методом по ГОСТ 26930-86.

Содержание пестицидов (α, β и γ- ГХЦГ, ДДТ и его метаболиты) устанавливается методом газожидкостной хроматографии по ГОСТ 23452-2015.

Количество мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов вели по ГОСТ 10444.15-94. Определение количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий) вели по ГОСТ 31747−2012.

Результаты и обсуждение. Изучено содержание полифенола, β-каротина и флавоноидов в концентратах из плодов шиповника и боярышника.

Данные о содержании пищевых веществ в концентратах из плодов шиповника и боярышника, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Содержание основных БАВ в концентратах из плодов шиповника и боярышника

Наименование показателей	Ед. изм.	Плоды шиповника	Плоды боярышника
Полифенолы	%	4,53±0,05	3,75±0,04
Флавоноиды	%	2,72±0,04	2,25±0,03
β- каротин	мг/100 г	0,956±0,01	0,38±0,003

Флавоноиды являются полифенольными антиоксидантами, которые естественным образом содержатся в растениях. Исследованиями доказано, что многие флавоноиды обладают антиоксидантной активностью, способностью поглощать свободные радикалы, профилактикой ишемической болезни сердца, гепатопротекторной, противовоспалительной и противоопухолевой активностью, в то время как некоторые флавоноиды обладают потенциальной противовирусной активностью [16-18].

Полифенолы - разнообразные и широко распространенные минорные биологически активные соединения растительного происхождения. Они содержатся в различных пищевых продуктах - фруктах, овощах, крупах, орехах, кофе, какао, специях, семечках. Полифенолы привлекают внимание исследователей в связи с широким набором биологических эффектов, оказываемых на организм человека, помогают нам оставаться здоровыми, энергичными и защититься от развития многих болезней [19-22].

Каротиноиды - мощные антиоксиданты, регулирующие многие метаболические процессы в организме. Они также являются предшественниками витамина А, выполняющего важные биологические функции [23]. Каротиноиды способствуют сохранению структуры и функциональной активности ДНК, белков, обладают антисклеротическим эффектом, повышают устойчивость организма к онкологическим патологиям.

Экструзионные зерновые чипсы готовили по технологии, описанной в разделе «Материалы

и методы исследования». Проведена комплексная оценка экструзионных зерновых чипсов с использованием концентратов из дикорастущих растений, которая включала определение химического состава и показателей безопасности.

Полученные в ходе определения данные приведены в таблице 2,3 и 4.Эти результаты дают решающее представление о химическом составе экструзионных зерновых чипсов с использованием концентратов из плодов шиповника и боярышника, подчеркивая присутствие различных пищевых веществ, которые могут иметь значение для многочисленных применений в области научных исследований. В качестве контроля приняты экструзионные зерновые чипсы без применения концентратов.

Из таблицы 2 видно, органолептические показатели исследуемого образца соответствуют установленным требованиям. В анализируемых образцах отмечается влияние вкусовых добавок, наблюдается слабый глянцевый блеск поверхности, а изделия характеризуются усиленной насыщенностью цвета.

Таблица 2 - Органолептические показатели зерновых чипсов

Наименования показателей	**Контроль**	**С концентратом из шиповника**	**С концентратом из боярышника**
Форма	Правильная прямоугольная хрупкая, толщина плиток тонкая равномерная, без вмятин, с ровными краями. Без повреждения углов.		
Поверхность	Ровная слегка с шероховатой поверхностью, без вздутий, трещин и пятен	Ровная, слегка шероховатая, с небольшим глянцем, без вздутий, трещин и пятен.	
Цвет	Равномерный от светло-коричневый с точечными вкраплениями темного цвета	Коричневый с равномерно распределёнными точечными вкраплениями более насыщенного цвета	Однородный насыщенно коричневый с равномерно распределёнными точечными вкраплениями более насыщенного цвета
Вкус	Насыщенный, с выраженными зерновым привкусом, без постоянных вкусов	Насыщенный, с выраженными зерновым привкусом и чувствуется вкус добавок, без постоянных вкусов	

Таблица 3 - Химический состав экструзионных зерновых чипсов

Пищевые вещества	**Экструзионные зерновые чипсы**		
	контроль	с концентратом из шиповника	с концентратом из боярышника
Белок, г	11,07	10,41	10,32
Жиры, г	2,26	1,89	1,97
Углеводы, г	63,89	62,5	62,15
Полифенолы, г	-	0,63	0,49

Флавоноиды, г	-	0,29	0,24
β- каротин, мг/100 г	-	0,12	0,05

Из таблицы 3 видно, что содержание белка в чипсах с концентратом из шиповника уменьшилось на 5,97 %, в чипсах с концентратом из боярышника – на 6,78 % в сравнении с контрольным образцом. Содержание жира уменьшилось, соответственно, на 16,37 и 12,83 %, содержание углеводов уменьшилось – на 2,18 и 2,77 %. В экструзионных зерновых чипсах установлены содержание полифенола, β-каротина и флавоноидов, тогда как в контрольном образце содержание этих основных БАВ не обнаружено.

Нами исследовалась безопасность экструзионных зерновых чипсов с использованием концентратов из плодов шиповника и боярышника. В таблице 4 приведены результаты исследования показателей безопасности.

Таблица 4 - Показатели безопасности экструзионных зерновых чипсов

Пищевые вещества	**Экструзионные зерновые чипсы**		
	контроль	с концентратом из шиповника	с концентратом из боярышника
Микробиологические показатели:			
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	3*102	2*102	2*102
БГКП в 1,0 г продукта	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
Тяжелые металы, мг/кг:			
свинец	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
кадмий	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
мышьяк	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
ртуть	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
Пестициды, мг/кг:			
ГХЦГ(	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено
ДДТ и его метоболиты	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено

Результаты исследования безопасности экструзионных зерновых чипсов с использованием концентратов из дикорастущих растений показали их соответствие требованиям Технического регламента Таможенного союза 021/2011 и подтвердили их безопасность.

Выводы. В результате экспериментальных исследований химического состава и показателей безопасности экструзионных зерновых чипсов с использованием концентратов из дикорастущих растений установлено, что содержание белка в чипсах с концентратом из шиповника уменьшилось на 5,97 %, в чипсах с концентратом из боярышника – на 6,78 % в сравнении с контрольным образцом. Содержание жира уменьшилось, соответственно, на 16,37 и 12,83 %, содержание углеводов уменьшилось – на 2,18 и 2,77 %. В экструзионных зерновых чипсах установлены содержание полифенола, β-каротина и флавоноидов, тогда как в контроль-

ном образце содержание этих основных БАВ не обнаружено. Полученные экструзионные зерновые чипсы с использованием концентратов из дикорастущих растений по показателям безопасности требованиям ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». Технология экструзии имеет множество преимуществ по сравнению с другими методами обработки. Благодаря своим уникальным преимуществам он привнес некоторые изменения в пищевую промышленность. Поэтому тематика экструдирования для производства пищевых продуктов является перспективной и требует проведения дальнейших исследований.

Финансирование. *Эксперименты проводились в рамках финансируемого проекта Министерства образования и науки Республики Казахстан №AP19577363 «Разработка технологии функциональных экструзионных продуктов питания с использованием дикорастущих растений Казахстана».*

Литература

1. Offiah V., Kontogiorgo V., Falade K. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. -2019.-Vol.59(18). - P.2979- 2998. DOI 10.1080/10 408398.2018.1480007.

2. Leonard W., Zhang P., Ying D. [et al.] Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. -2020.-Vol.19(1). - P.218- 246. DOI 10.1111/15414337.12514.

3. Бахчевников О. Н., Брагинец С.В. Экструдирование растительного сырья для продуктов питания (обзор) // Техника и технология пищевых производств.- 2020.-Т.50(4). –С.690–706. DOI 10.21603/2074-9414-2020-4-690-706.

4. Alam M. S., Kaur J., Khaira H. [et al.] Extrusion and extruded products: Changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. -2016.-Vol.56(3). - P.445-473. DOI 10.1080/10408398.2013.779568.

5. Калинина И.В., Руськина А.А. Современные подходы в технологии безопасной снэковой продукции // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. - 2014. -№ 2(3). - С.29-36.

6. Винницкая В.Ф., Макаров В.Н., Акишин Д.В., Данилин С.И., Ананьева О.В. Разработка технологий производства функциональных снеков из местного фруктового и овощного сырья//Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. - 2019. - № 4. - С.8-14.

7. Винницкая В.Ф., Попова Е.И. Исследования функциональных свойств овощей, фруктов, ягод, листьев и трав и создание функциональных продуктов питания нового поколения Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. - 2014. - №5. -С.63-67.

8. Халеев М.В., Тошев А.Д., Журавлева Н.Д. Производство альтернативных видов чипсов//Polish journal of science. - 2020. - №1. С.52-57.

9. Prabha K. et al. Recent development, challenges, and prospects of extrusion technology // Future Foods. - 2021. - Vol.3: 100019. DOI 10.1016/j.fufo.2021.100019.

10. Mironeasa, S., Coţovanu, I., Mironeasa, C., & Ungureanu-Iuga, M. A review of the changes produced by extrusion cooking on the bioactive compounds from vegetal sources. //*Antioxidants.* -2023. Т.12, № 7. -P.1453. DOI 10.3390/antiox12071453.

11. Азембаев А.А., Тегисбаев Н.Е., Кусниева А.Е., Баймурзина М.А., Адибаева Г.Л. Лекарственные

растения Казахстана применяемые в восточной и академической медицине. - Алматы: Изд-во «Нур-Принт». - 2015. - 178с. ISBN 9965-894-55-8

12. Гемеджиева Н.Г., Каржаубекова Ж.Ж., Лесова Ж.Т. и др. Анализ видового разнообразия и изученности полезных растений прибалхашья // Успехи современного естествознания. - 2016. - № 1. - С.66-70.

13. Iskakova G.K., Abdreeva A.S., Askarbekov E.B., Batyrbaeva N.B., Samadun A.I. Substantiation of ultrasound-assisted extraction parameters for obtaining an extract from rose hips (*Rosa canina* l.) // Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences.-2024 - № 1(2(14))- P.92-98. DOI 10.53360/2788-7995-2024-2(14)-12.

14. Izembaeva A., Moldakulova Z., Abdreeva A., Iskakova G. and et al. Substantiation of wild plants used as functional ingredients in the technology of crisp grain bread//Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.- 2024.-Vol.18.- P.697-718. DOI 10.5219/1998.

15. Курдюков Е.Е., Поешакова Д.А., Глебова Н.Н. и другиею Флавоноиды: классификация, биологические свойства и перспетивы использования в медицине//Международный научно-исследовательский журнал.-2023.- № 11(137). DOI 10.23670/IRJ.2023.137.143.

16. Курдюков Е.Е., Кузнецова А.В., Семенова Е.Ф. и др. К вопросу стандартизации по содержанию флавоноидов листьев стевии как перспективного лекарственного растительного сырья // Химия растительного сырья. - 2019.- № 1. - С.217-224. DOI 10.14258/jcprm.2019014067.

17. Kumar S., Pandey A.K. Antioxidant, Lipo-protective and Antibacterial Activities of Phytoconstituents Present in Solanum Xanthocarpum Root // International Review of Biophysical Chemistry. - 2012. -Vol. 3(3). - P.42-47.

18. Бобрышева Т.Н., Анисимов Г.С., Золоторева М.С., Бобрышев Д.В., Будкевич Р.О., Москалев А.А. Полифенолы как перспективные биологически активные соединения// Вопросы питания. - 2023. Т.92 (1). - С.92-107. DOI 10.33029/0042-8833-2023-92-1-92-107.

19. Singla R.K., Dubey A.K., Garg A., Sharma R., Fiorino M., Ameen S. et al. Natural polyphenols: chemical classification, definition of classes, subcategories, and structures // J. AOAC Int.2019. Vol.102(5).-P. 1397-1400. DOI 10.5740/jaoacint.19-0133.

20. Zhang L., Han Z., Granato D. Polyphenols in foods: Classification, methods of identification, and nutritional aspects in human health // Adv. Food Nutr. Res. -2021.- Vol.98.- P.1-33. DOI: 10.1016/bs.afnr.2021.02.004.

21. Truzzi F., Tibaldi C., Zhang Y., Dineli G., DAmen E. An overview on dietary polyphenols and their Biopharmaceutical Classification System (BCS) // Int. J. Mol. Sci.- 2021. -Vol.22(11). P.5514. DOI 10.3390/ijms22115514.

22. Панкратова М.С., Юсипович А.И., Воронцова М.В., Князева Т.Т., Байжуманов А.А., Ширяева Т.Ю., Соловченко А.Е., Максимов Г.В., Петеркова В.А. Воздействие окислительного стресса на состав каротиноидов плазмы у детей с соматотропной недостаточностью // Проблемы Эндокринологии .-2016.-Т.62(6).- С.4-9. DOI 10.14341/probl20166264-9.

References

1. Offiah V., Kontogiorgo V., Falade K. Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. -2019.-Vol.59(18). - P.2979- 2998. DOI 10.1080/10 408398.2018.1480007.

2. Leonard W., Zhang P., Ying D. [et al.] Application of extrusion technology in plant food processing

byproducts: An overview // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. -2020.-Vol.19(1). - P.218- 246. DOI 10.1111/15414337.12514.

3. Bahchevnikov O. N., Braginec S.V. Jekstrudirovanie rastitel' nogo syr' ja dlja produktov pitanija (obzor) // Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv.- 2020. -T.50(4). –C.690–706. DOI 10.21603/2074-9414-2020-4-690-706. [in Russian]

4. Alam M. S., Kaur J., Khaira H. [et al.] Extrusion and extruded products: Changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: A review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. -2016.-Vol.56(3). - P.445-473. DOI 10.1080/10408398.2013.779568.

5. Kalinina I.V., Rus' kina A.A. Sovremennye podhody v tehnologii bezopasnoj snjekovoj produkcii // Vestnik Juzhno-Ural' skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Pishhevye i biotehnologii. - 2014. -№ 2(3). - S.29-36. [in Russian]

6. Vinnickaja V.F., Makarov V.N., Akishin D.V., Danilin S.I., Anan' eva O.V. Razrabotka tehnologij proizvodstva funkcional' nyh snekov iz mestnogo fruktovogo i ovoshhnogo syr' ja//Tehnologii pishhevoj i pererabatyvajushhej promyshlennosti APK-produkty zdorovogo pitanija. - 2019. - № 4. - S.8-14. [in Russian]

7. Vinnickaja V.F., Popova E.I. Issledovanija funkcional' nyh svojstv ovoshhej, fruktov, jagod, list' ev i trav i sozdanie funkcional' nyh produktov pitanija novogo pokolenija Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2014. - №5. -S.63-67. [in Russian]

8. Haleev M.V., Toshev A.D., Zhuravleva N.D. Proizvodstvo al' ternativnyh vidov chipsov//Polish journal of science. - 2020. - №1. S.52-57. [in Russian]

9. Prabha K. et al. Recent development, challenges, and prospects of extrusion technology // Future Foods. - 2021. - Vol.3: 100019. DOI 10.1016/j.fufo.2021.100019.

10. Mironeasa, S., Coţovanu, I., Mironeasa, C., & Ungureanu-Iuga, M. A review of the changes produced by extrusion cooking on the bioactive compounds from vegetal sources. //*Antioxidants.* -2023. T.12, № 7. -P.1453. DOI 10.3390/antiox12071453.

11. Azembaev A.A., Tegisbaev N.E., Kusnieva A.E., Bajmurzina M.A., Adibaeva G.L. Lekarstvennye rastenija Kazahstana primenjaemye v vostochnoj i akademicheskoj medicine. – Almaty: Izd-vo «Nur-Print». - 2015. - 178s. ISBN 9965-894-55-8. [in Russian]

12. Gemedzhieva N.G., Karzhaubekova Zh.Zh., Lesova Zh.T. i dr. Analiz vidovogo raznoobrazija i izuchennosti poleznyh rastenij pribalhash' ja // Uspehi sovremennogo estestvoznanija. - 2016. - № 1. - S.66-70. [in Russian]

13. Iskakova G.K., Abdreeva A.S., Askarbekov E.B., Batyrbaeva N.B., Samadun A.I. Substantiation of ultrasound-assisted extraction parameters for obtaining an extract from rose hips (*Rosa canina* l.) // Bulletin of Shakarim University. Technical Sciences.-2024 - № 1(2(14))- P.92-98. DOI 10.53360/2788-7995-2024-2(14)-12.

14. Izembaeva A., Moldakulova Z., Abdreeva A., Iskakova G. and et al. Substantiation of wild plants used as functional ingredients in the technology of crisp grain bread//Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences.- 2024.-Vol.18.- P.697-718. DOI 10.5219/1998.

15. Kurdjukov E.E., Poeshakova D.A., Glebova N.N. i drugieju Flavonoidy: klassifikacija, biologicheskie svojstva i perspetivy ispol' zovanija v medicine//Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel' skij zhurnal.- 2023.- № 11(137). DOI 10.23670/IRJ.2023.137.143. [in Russian]

16. Kurdjukov E.E., Kuznecova A.V., Semenova E.F. i dr. K voprosu standartizacii po soderzhaniju flavonoidov list' ev stevii kak perspektivnogo lekarstvennogo rastitel' nogo syr' ja // Himija rastitel' nogo

syr’ ja. - 2019.- № 1. - S.217-224. DOI 10.14258/jcprm.2019014067. [in Russian]

17. Kumar S., Pandey A.K. Antioxidant, Lipo-protective and Antibacterial Activities of Phytoconstituents Present in Solanum Xanthocarpum Root // International Review of Biophysical Chemistry. - 2012. -Vol. 3(3). - P.42-47.

18. Bobrysheva T.N., Anisimov G.S., Zolotoreva M.S., Bobryshev D.V., Budkevich R.O., Moskalev A.A. Polifenoly kak perspektivnye biologicheski aktivnye soedinenija// Voprosy pitanija. - 2023. T.92 (1). - S.92-107. DOI 10.33029/0042-8833-2023-92-1-92-107. [in Russian]

19. Singla R.K., Dubey A.K., Garg A., Sharma R., Fiorino M., Ameen S. et al. Natural polyphenols: chemical classification, definition of classes, subcategories, and structures // J. AOAC Int.2019. Vol.102(5).-P. 1397-1400. DOI 10.5740/jaoacint.19-0133.

20. Zhang L., Han Z., Granato D. Polyphenols in foods: Classification, methods of identification, and nutritional aspects in human health // Adv. Food Nutr. Res. -2021.- Vol.98.- P.1-33. DOI: 10.1016/bs.afnr.2021.02.004.

21. Truzzi F., Tibaldi C., Zhang Y., Dineli G., DAmen E. An overview on dietary polyphenols and their Biopharmaceutical Classification System (BCS) // Int. J. Mol. Sci.- 2021. -Vol.22(11). P.5514. DOI 10.3390/ijms22115514.

22. Pankratova M.S., Jusipovich A.I., Voroncova M.V., Knjazeva T.T., Bajzhumanov A.A., Shirjaeva T.Ju., Solovchenko A.E., Maksimov G.V., Peterkova V.A. Vozdejstvie okislitel’ nogo stressa na sostav karotinoidov plazmy u detej s somatotropnoj nedostatochnost’ ju// Problemy Jendokrinologii .- 2016.- T.62(6).- S.4-9. DOI 10.14341/probl20166264-9. [in Russian]

Сведения об авторах

Изембаева А.К. - PhD, ассоц. профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: asel_19.01.83@mail.ru;

Аскарбеков Э.Б.- PhD, ассоц. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: erik_ab82@mail.ru;

Молдақұлова З. Н. - PhD, Алматинский технологический университет, Алматы, e-mail: zliha_92_kz@mail.ru;

Қойланов Қ. С.- Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства, Алматинская область, село Алмалы бақ, Казахстан, e-mail: koylanovk@mail.ru;

Ахлан Т.Б.- докторант 3 курса, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: togzhan.akhlan@yandex.kz;

Байғайыпқызы М..- докторант 1 курса, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: makpal_atyhanova@mail.ru.

Information about the authors

Izembaeva A.K. - PhD, associate professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: asel_19.01.83@mail.ru;

Askarbekov E.B. - PhD, associate professor, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhan, Astana, Kazakhstan, e-mail: erik_ab82@mail.ru;

Moldakulova Z.N. - PhD, Almaty Technological University, Almaty, e-mail: zliha_92_kz@mail.ru;

Koylanov K.S. - Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing, Almaty region, Almaly bak village, Kazakhstan, e-mail: koylanovk@mail.ru;

Ahlan T.B. - 3rd year doctoral student, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: togzhan.akhlan@yandex.kz;

Baigaiypkyzy M. -2rd year doctoral student, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: makpal_atyhanova@mail.ru.

ҒТАМР 65.33.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-973**

АСҚАБАҚ КОМПОНЕНТТЕРІ ҚОСЫЛҒАН ТҰТАС ДӘНДІ ҚЫТЫРЛАҚ НАННЫҢ РЕЦЕПТУРАСЫ МЕН САПА КӨРСЕТКІШТЕРІ

[1]Д.Қ. Алибаева✉, [1]А.Ж. Иманбаев, [2]Hulya Gul, [3]Г.Е. Есиркеп, [3]Ж. Нармандах
[1]М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан
[2]Сулеймен Демирел Университетті, Испарта, Турция,
[3]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан
✉*Корреспондент-автор: dinaalibayeva3@gmail.com*

Бұл жұмыста асқабақ қабығы мен дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нанның рецептурасын әзірлеу мақсатында зерттеу жүргізілді. Қазіргі таңда дұрыс және теңгерімді тамақтану мәселесі қоғам үшін аса маңызды болып отыр. Диеталық тағам өнімдеріне деген сұраныстың артуы халықтың денсаулығын сақтау, семіздік пен жүрек-қан тамырлары ауруларының алдын алу қажеттілігінен туындайды. Бұл тұрғыда биологиялық белсенді заттарға бай көкөністер мен тұтас дән өнімдерін тиімді қолдану өзекті мәселе болып табылады. Асқабақ қабығы мен дәні құрамындағы дәрумендер, минералдар мен антиоксиданттар арқылы тағам өнімдерінің құндылығын арттыра алады. Ал тұтас дәнді бидай ұны – тағамдық талшықтар мен пайдалы майлардың көзі ретінде белгілі. Осы екі компонентті бірлестіріп қолдану арқылы жаңа үлгідегі функционалдық диеталық өнім – қытырлақ нан (хлебцы) дайындау өзекті ғылыми міндет болып табылады.

Зерттеудің басты мақсаты – асқабақ қабығы мен дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нанның рецептурасын әзірлеу және оның сапалық сипаттамаларын бағалау. Зерттеу жұмысы барысында органолептикалық талдау, физика-химиялық көрсеткіштерді анықтау, тағамдық және биологиялық құндылықты есептеу әдістері қолданылды. Қоспаларды әзірлеу және нан дайындау процесі зертханалық жағдайда жүргізілді. Таңдалған әдістер зерттеу мақсатына толықтай сай келеді және сенімді нәтижелер алуға мүмкіндік береді. Этика принциптері сақталып, барлық ингредиенттер тағамдық қауіпсіздік талаптарына сәйкес қолданылған. Тағамдық және биологиялық құндылығын жақсарту үшін қытырлақ нан нанына 15-45% асқабақ қабығы мен дәнін ұнтақтап қосылды.

Зерттеу нәтижесінде асқабақ қабығы мен дәнінің тұтас дәнді бидай ұнымен үйлесімі нан өнімінің тағамдық құндылығын айтарлықтай арттыратыны дәлелденді. Оптималды құрам ретінде 30% асқабақ қосылған нұсқа таңдалып алынды. Бұл нұсқадағы өнім жоғары деңгейдегі протеин мен тағамдық талшықтарға ие, жағымды дәмдік сипаттамалар мен қытырлақ текстура көрсетті. Ғылыми жаңалығы – көкөніс қалдықтарын (асқабақ қабығы мен дәні) тиімді өңдеу арқылы биологиялық құнды диеталық өнім алу технологиясының ұсынылуы. Бұл тәсіл функционалдық тағам өнімдерін жасаудың жаңа бағытын ұсынады

Түйін сөздер: тұтас дәнді бидай ұны, асқабақ қабығы, асқабақ дәні, қытырлақ нан (хлебцы), тағамдық құндылық, сапа көрсеткіштері.

РЕЦЕПТУРА И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ХРУСТЯЩЕГО ХЛЕБА ИЗ ЦЕЛЬНОЗЕРНОВОЙ ПШЕНИЦЫ С ТЫКВЕННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

[1]Д.Қ. Алибаева✉, [1]А.Ж. Иманбаев, [2]Hulya Gul, [3]Г.Е. Есиркеп, [3]Ж. Нармандах
[1]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
[2]Сулеймен Демирель Университет, Испарта, Турция,
[3]Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mail: dinaalibayeva3@gmail.com

В данной работе проведено исследование с целью разработки рецептуры хрустящих хлебцев, изготовленных из цельнозерновой пшеничной муки, обогащённой кожурой и семенами тыквы. В

настоящее время вопросы правильного и сбалансированного питания имеют особую важность для общества. Рост спроса на диетические продукты питания обусловлен необходимостью сохранения здоровья населения, профилактики ожирения и сердечно-сосудистых заболеваний. В этом контексте актуально эффективное использование овощей, богатых биологически активными веществами, и цельнозерновых продуктов. Кожура и семена тыквы способны повысить пищевую ценность продуктов благодаря содержанию витаминов, минералов и антиоксидантов. Цельнозерновая пшеничная мука известна как источник пищевых волокон и полезных жиров. Совместное использование этих двух компонентов позволяет создать новый вид функционального диетического продукта – хрустящие хлебцы.

Основная цель исследования – разработать рецептуру хрустящих хлебцев на основе цельнозерновой пшеничной муки, обогащённой кожурой и семенами тыквы, а также оценить их качественные характеристики. В ходе работы применялись методы органолептического анализа, определения физико-химических показателей, расчёта пищевой и биологической ценности. Подготовка смесей и процесс выпечки проводились в лабораторных условиях. Выбранные методы полностью соответствуют цели исследования и позволяют получить достоверные результаты. Были соблюдены принципы этики, все ингредиенты использовались в соответствии с требованиями пищевой безопасности. Для повышения пищевой и биологической ценности в хлебцы добавляли 15–45% измельчённой кожуры и семян тыквы.

В результате установлено, что сочетание кожуры и семян тыквы с цельнозерновой пшеничной мукой значительно повышает пищевую ценность хлебцев. В качестве оптимального состава выбран вариант с 30% добавлением тыквы. Этот продукт отличается высоким содержанием белка и пищевых волокон, приятными вкусовыми качествами и хрустящей текстурой. Научная новизна заключается в предложении технологии получения биологически ценных диетических продуктов за счёт эффективной переработки овощных отходов (кожуры и семян тыквы). Этот подход открывает новое направление в разработке функциональных пищевых продуктов.

Ключевые слова: цельнозерновая пшеничная мука, корочка тыквы, семена тыквы, хлебцы, пищевая ценность, качественные показатели.

RECIPE AND QUALITY CHARACTERISTICS OF CRISPBREAD FROM WHOLE WHEAT FLOUR WITH PUMPKIN COMPONENTS

[1]D.K. Alibayeva✉, [1]A.Zh. Imanbayev, [2]Hulya Gul, [3]G.E. Esirkep, [3]Zh. Narmandakh

[1]South Kazakhstan University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan,
[2]Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey,
[3]K. Kulazhonov Kazakh University of Technology and Business,
e-mail: dinaalibayeva3@gmail.com

This study was conducted to develop a recipe for crispbread made from whole wheat flour enriched with pumpkin peel and seeds. Today, proper and balanced nutrition is of great importance to society. The increasing demand for dietary food products arises from the need to maintain public health and prevent obesity and cardiovascular diseases. In this regard, the effective use of vegetables rich in biologically active substances and whole grain products is a relevant issue. Pumpkin peel and seeds can enhance the nutritional value of food products due to their content of vitamins, minerals, and antioxidants. Whole wheat flour is known as a source of dietary fiber and healthy fats. Combining these two components makes it possible to create a new type of functional dietary product—crispbread.

The main goal of the study is to develop a recipe for crispbread made from whole wheat flour enriched with pumpkin peel and seeds, and to evaluate its quality characteristics. Organoleptic analysis, determination of physicochemical indicators, and calculation of nutritional and biological value were applied during the study. The preparation of mixtures and baking processes were carried out in laboratory conditions. The

selected methods fully correspond to the study's objectives and allow for reliable results. Ethical principles were observed, and all ingredients were used in accordance with food safety requirements. To improve the nutritional and biological value, 15–45% of powdered pumpkin peel and seeds were added to the crispbread.

The results showed that the combination of pumpkin peel and seeds with whole wheat flour significantly increased the nutritional value of the product. The optimal formulation was determined to be 30% pumpkin content. This version of the product had a high level of protein and dietary fiber, pleasant taste characteristics, and a crispy texture. The scientific novelty lies in the proposed technology for obtaining biologically valuable dietary products through the effective processing of vegetable waste (pumpkin peel and seeds). This approach introduces a new direction in the development of functional food products.

Keywords: whole grain wheat flour, pumpkin peel, pumpkin seeds, crisp bread, nutritional value, quality indicators.

Кіріспе. Қазіргі кезеңде адамдар арасында денсаулықты нығайтатын және салауатты өмір салтын қолдайтын тағамдарға деген қызығушылық арта түсті. Көптеген тұтынушылар ағзаға пайдалы, дайындалуы жеңіл әрі тағамдық құндылығы жоғары өнімдерді тұтынуға ұмтылуда. Мұндай денсаулыққа пайдалы азық-түлікке деген сұраныс жылдан-жылға тұрақты түрде өсіп келеді. Денсаулықты сақтау үшін тағам өнімдерінің тағамдық және биологиялық құндылығын арттыру – өзекті мәселе. Көкөніс қалдықтарын пайдалану арқылы экологиялық және экономикалық тиімділікке қол жеткізу мүмкіндігі бар. Диеталық өнімдер нарығында отандық инновациялық рецептуралар тапшылығы байқалады [1].

Асқабақ – кеңінен қолданылатын көкөніс түрлерінің бірі болып табылады. Ол қоректік, шипалық және экономикалық жағынан жоғары бағаланады. Калория мөлшері аз болғанымен, асқабақтың құрамында А және С дәрумендері, калий, сондай-ақ тағамдық талшықтар секілді адам ағзасына қажетті заттар мол. Негізінен асқабақтың жұмсақ бөлігі тағамға пайдаланылады, ал жемістің шамамен 18-21 пайызы қалдық түрінде қалып қояды [2].

Қалдықтарды ұтымды әрі тиімді түрде кәдеге жарату – бүгінгі күннің өзекті мәселелерінің бірі. Асқабақтың қабығы, тұқымы, жапырағы мен гүлдері биологиялық белсенді қосылыстарға бай болғандықтан, оларды жоғары құнды өнімдерге айналдыруға толық мүмкіндік бар. Алайда, пайдалы тағамдық қасиеттеріне қарамастан, асқабақ тұқымдары мен қабықтары көбіне қажетсіз қалдық ретінде қарастырылады. Үндістанның кейбір өңірлерінде асқабақтың жапырағы, гүлдері мен қабығы тағамға сирек қолданылады. Зерттеулерге сәйкес, асқабақтың құрылымдық құрамы былайша бөлінеді: шамамен 10-12% қабық, 3-4% талшықты бөлік (целлюлоза), 79-82% етті бөлік және 4-6% тұқым. Осы бөліктерді пайдалана отырып, асқабақ ұны негізінде әртүрлі тағам түрлерін әзірлеу бағытында зерттеу жұмыстары жүргізілуде [3,4].

Тұтас дәннен алынған бидай ұны өз құрамына кебек, ұрық және эндоспермді қамтиды, бұл бөліктер адам денсаулығына қажетті әртүрлі дәрумендер мен микроэлементтердің мол көзі болып табылады. Кебектегі ең құнды компоненттердің бірі – тағамдық талшық, яғни жасұнық. Ол ағзамен сіңірілмейтін болғанымен, асқорыту жүйесіне зор пайда әкеледі: асқазан мен ішекті тазалап, ағзадан толықтай шығарылып отырады. Сонымен қатар, жасұнық ағзада жиналатын зиянды заттарды – қождарды, ауыр металдарды, олардың тұздарын және токсиндерді шығарып тастауға көмектеседі. Ал кебектің құрамындағы дәрумендер, ферменттер мен минералды элементтер ағзамен оңай әрі тиімді сіңіріледі [5].

Тұтас дәннен алынған бидай ұнын қолдану арқылы дайындалған нан өнімдері адам рационында маңызды орынға ие, өйткені олар қоректік құндылығы жоғары тағамдар қатарына жатады. Осыған байланысты қазіргі таңда тамақ өнеркәсібі тұтас дәнді ұнды өндіріске енгізу

арқылы жаңа үлгідегі аспаздық өнімдерді әзірлеуге ерекше назар аударып отыр [6].

Осы екі құнды ингредиентті біріктіре отырып, біз қытырлақ нан өнімінің (хлебцы) жаңа рецептурасын ұсынуды жөн көрдік. Бұл тағам тек жағымды дәмімен ғана емес, сонымен қатар денсаулыққа пайдалы қасиеттерімен де ерекшеленеді. Асқабақтың дәрумендер мен минералдарға бай құрамы және тұтас дәнді бидай ұнындағы тағамдық талшық бұл нанды қуат көзіне айналдырып, жоғары қоректік өнім етеді. Ұсынылған рецептурада асқабақтың қабығы мен тұқымдарын тиімді пайдалану арқылы табиғи, пайдалы әрі дәмі тіл үйіретін өнім дайындау тәсілі көрсетілген. Бұл нанның дайындалу процесі қарапайым, ал дайын өнімнің хош иісі мен дәмі үй ішіндегілердің көңілінен шығатыны сөзсіз [7].

Бұл жұмыстың мақсаты сапасы мен функционалдық сипаттамалары жақсартылған диеталық өнімдердің ассортиментін кеңейту үшін, асқабақ дәні және қабығымен байытылған тұтас дәнді ұннан жасалған қытырлақ нан рецептурасын әзірлеу және органалептикалық құндылығымен энергетикалық құндылығын анықтау.

Бұл жұмыста тұтас дәнді бидай ұны, асқабақ дәндері, асқабақ қабығы, су, тұз, зәйтін майы зерттеу нысаны болып табылады [8].

Осы жұмыстың мақсаты – қытырлақ нан (хлебцы) тағамдық және биологиялық құндылығын арттыра отырып, диеталық мақсатта жаңа түрін алу. Бұл мақсатқа жету үшін бірнеше бағытта зерттеу жүргізу жоспарланды: асқабақ қабығы қосылған тұтас дәнді бидай ұнынан ашымалы, асқабақ дәні қосылған тұтас дәнді бидай ұнынан ашымалы, асқабақ дәні және қабығы қосылған тұтас дәнді бидай ұнынан ашымалы. Соның ішінде асқабақ қабығы мен дәні қосылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нан таңдадық. Себебі, асқабақ қабығы қосылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нанымыз қатты болып шықты [9].

Материалдар мен әдістер. Қытырлақ нанның дәмі мен құрылымы сарапталды, нәтижесінде денсаулыққа пайдалы әрі дәмді өнім ұсынылды. Бұл Алматы аймағынан алынған асқабақ қабығы, шілде айында алынды. Асқабақ қабығын ұсақтап турау арқылы алынды. Асқабақ қабығының ылғалдылығы, су белсенділігі, май мөлшері және тағы басқа анализдер анықталды. Жұмыстың нәтижелері нарықтағы денсаулыққа бағытталған өнімдердің қажеттілігін ескере отырып, тұтынушыларға пайдалы және танымал нанды әзірлеуге мүмкіндік береді [10].

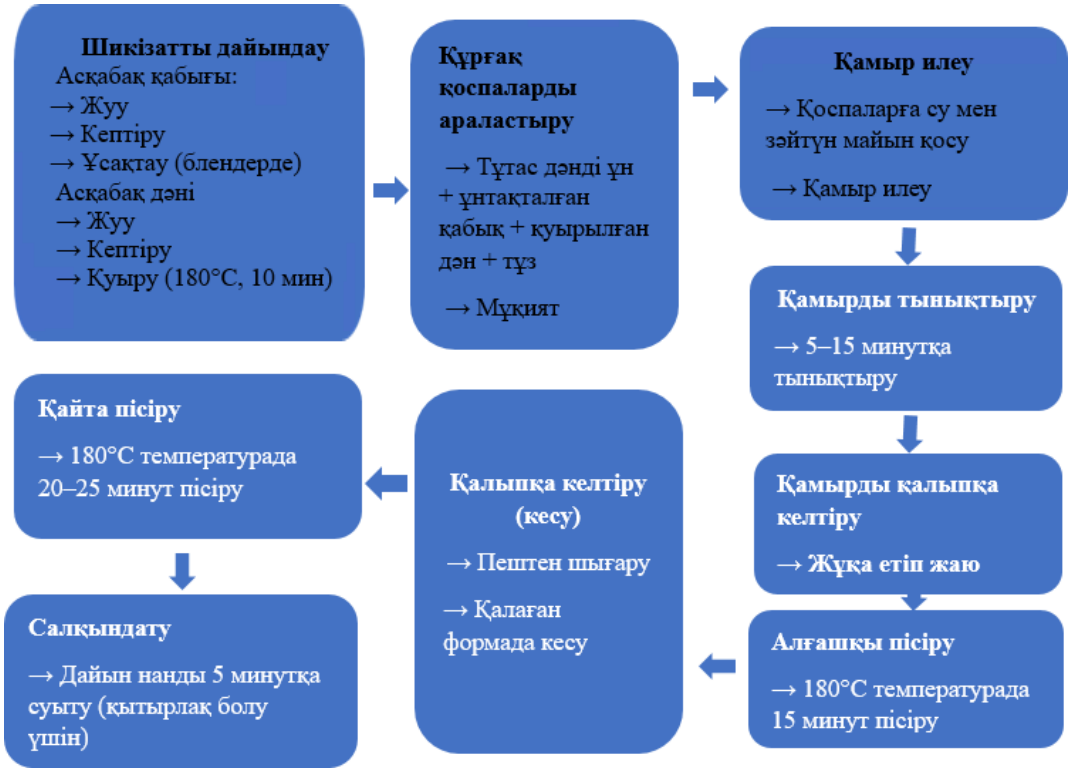
Әдебиет шолуы барысында дәстүрлі технологиялар негізінде функционалдық мақсаттағы технология әзірленді. Ол сынақтан өтіп, енгізу актілерімен мақұлданды және инновациялық патентке өтті. Асқабақ дәні мен қабығы қосылған тұтас дәнді бидай ұнынан қытырлақ нан сапасына әсер етуін зерттеу үшін тиімді мөлшерін анықтау мақсатында 15, 30, 50% ұн массасына шаққанда қосылған үлгілер дайындалды. Байытылған қытырлақ нан жасау барысын төмендегі 1-ші суреттен көруге болады [11].

Алдымен асқабақ қабығын мұқият жуады да, толық кептіріледі. Асқабақтың дәндерін алдын ала қуырып алу қажет. Араластырғыш ыдысқа тұтас дәнді бидай ұны, қуырылған асқабақ дәндері, кептірілген асқабақ қабығы және тұз салынады. Барлық құрғақ ингредиенттерді жақсылап араластырып алу керек. Содан кейін су мен зәйтүн майы қосылып, қамыр иленеді. Қамырдың консистенциясы жұмсақ әрі қолға жабыспайтын болуы тиіс. Қамырды 5-тен 15 минутқа дейін тынықтыру керек. Пеш 180ºС-қа дейін алдын ала қыздырылып қойылады. Қамырды табаға жұқа етіп жайып, пешке салады.15 минут өткен соң, нанды алып, пышақ көмегімен қажетті формаға келтіреді. Одан кейін нанды қайтадан 20-25 минут пешке салады. Дайын болғаннан кейін нан салқындатылып, оның қытырлақ болуы үшін тағы 5 минут тынықтырылады. [12].

Қытырлақ нанның асқабақ қабығы мен дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған рецептурасын зерттеу барысында органалептикалық көрсеткіші, күл мөлшері, су активтілігі энергетикалық құндылығы келесі әдістермен анықталды.

Қытырлақ нанның органалептикалық қасиеттерін анықтау методикасы негізінен оның пішіні, иісі мен дәмі, түсі және құрылымы сияқты

параметрлерді бағалауға негізделген. Бұл параметрлер нанның сапасын және тұтынушылардың қанағаттану деңгейін анықтау үшін маңызды рөл атқарады. Сыртқы түрінің бағалауына пішіні мен көлемін қарастырсақ. Нанның пішіні біркелкі болуы керек, ал көлемі оның дұрыс өсіп, пісірілгенін көрсетеді. Мысалы, қытырлақ нанның пішіні симметриялы болуы және оның бетіндегі сызықтар (score marks) тегіс болуы қажет. Қыртыс түсі қызғылт сарыдан қоңырға дейін болуы мүмкін. Қыртыс қалыңдығы нанның дұрыс пісірілгенін көрсетеді және оның құрғақтығын анықтайды. Қыртыстағы көпіршіктер мен қабықшалар нанның ауамен толы болуын көрсетеді, бұл оның сапасын көрсететін маңызды көрсеткіш. Нанның иісі жаңа пісірілген нанға тән хош иіс болуы керек. Иіс ашытқының дұрыс қолданылғанын және нанның дұрыс пісірілгенін көрсетеді. Бірақ біздің қытырлақ нанымызда ашытқы қолданылмайды. Нанның дәмі жұмсақ және аздап тұзды болуы керек. Дәм ашытқының дұрыс қолданылғанын және шикізаттың сапасын көрсетеді. Дәмдегі ащылық немесе қышқылдық нанның дұрыс пісірілмегенін көрсетуі мүмкін. Нанның ішкі құрылымы біркелкі кеуекті болуы керек [13].



1 - сурет. Асқабақ компоненттері қосылған тұтас дәнді қытырлақ нан жасау схемасы

Күл мөлшері нанның минералды құрамын көрсету үшін маңызды көрсеткіш болып табылады. Бұл әдіс өнімнің минералды құрамын зерттеуге және оның қоректік құндылығын бағалауға мүмкіндік береді. Қытырлақ нанның құрамынан үлгіні ұсақтап ұнтақ жасап аламыз. Үлгі 1-2 грамм болады. Дәл өлшеу үшін таразыны қолдану керек. Үлгіні алдын ала 105°C температурада 2-3 сағат кептіреміз. Барлық ылғалды кетіру қажет. Кептірілген үлгіні шыны керамические ыдысқа салыңыз. Ыдысты пешке саламыз, онда үлгі 550-600°C, температура 4-6 сағат бойы күйдіріледі. Бұл процесс кезінде органикалық заттар толық жанып, тек минералды заттар (күл) қалады. Үлгі күйгеннен кейін пештен шығарып, бөлме температурысында салқындатамыз. Қалған қалдықтың салмағын жазып аламыз. Қалған күлдің мөлшері салмағының про-

центтік мөлшері ретінде есептеледі. Күл мөлшерінің жоғары болуы қытырлақ нанның минералы құрамының көп екенін, ал төмен болуы оның құрамында заттардың аз екенін көрсетеді [14].

Су активтілігі өнімдегі еріген судың мөлшерін көрсетеді және өнімнің сақтау мерзімі мен микробиологиялық тұрақтылығына әсер етеді. Бұл көрсеткіш өнімнің ылғалдылығына және оның ішіндегі судың қолжетімділігіне байланысты өзгеріп отырады. Әдетте, ұытырлақ нан сияқты құрғақ тағамдық өнімдердің су активтілігі төмен болады, себебі оларда еркін судың мөлшері аз болады. Бұл олардың ұзақ сақталуына және микроорганизмдердің өсуіне қарсы тұруына ықпал етеді. Су активтілігі арнайы су активтілігін өлшеуіш құрылғылар арқылы өлшенеді. Құрылғы өнімнің ылғалдылығы мен температурасына негізделе отырып, өнімнің ішіндегі судың буының қысымын өлшейді. * Су белсенділігі (Aw) процестердің дәйекті өсуі мен өсуі үшін қанша су бар екенін көрсетеді. Бұл өнімдегі судың мөлшері ғана емес, сонымен қатар бұл судың әртүрлі биохимиялық және микробиологиялық процестерге қол жетімділігі. Су белсенділігі 0-ден (мүлдем құрғақ өнім) 1-ге дейін (таза су) өлшенеді. Нан үшін су белсенділігінің мәндері Aw < 0,6 - мұндай су белсенділігі орташа төмен және тұрақты нандар, олар аурудың өсу қаупінсіз ұзақ уақыт сақталуы мүмкін. Aw = 0,6-0,85 мұндай су белсенділігі бар нандар әдетте жұмсақ құрылымы мен ылғалдылығына ие, бірақ бүлінбеу үшін мұқият сақтауды қажет етеді. Aw > 0,85 мұндай су белсенділігі бар өнімдер заттардың тез көбеюіне ие және қатаң сақтау шарттарын қажет етеді. Микробиологиялық қауіпсіздік су белсенділігі неғұрлым төмен болса, өлім, ашытқы және көгеру ықтималдығы соғұрлым аз болады [15].

Stable MICRO Systems та текстуралық анализаторы. Xtplus Нан, кондитерлік өнімдер, макарон және басқа да тағамдардың реологиялық сипаттамаларын анықтауға арналған. Ол ұн тарту зауыттарында, нан пісіру, кондитерлік өнімдер, макарон өнеркәсібінде, басқа тамақ кәсіпорындарында және ғылыми-зерттеу зертханаларында қолданылады. Біз қытырлақ нанның қытырлақтығын анықтаймыз [16].

Дәнді дақылдардың тұтас дәндерінен жасалған диеталық өнім энергетикалық құндылығы өндіріс құрамы мен технологиясына байланысты. Қытырлақ нанның энергетикалық құндылығын есептеудің негізгі әдістері өнімдегі ақуыздар, майлар және көмірсулар туралы мәліметтерді пайдалануды қамтиды. Бұл әдіс дайын өнімді Алматы Технологиялық Университетінің ақылы зертханасында анықталды. Онда оның құрамы стандартталған әдістерді қолдана отырып талданады. Нәтижелер энергетикалық құндылықты есептеуге мүмкіндік беретін қоректік заттардың нақты деректерін қамтиды. Экструзия әдісімен жасалған нан көп қоректік заттарды сақтайды, өйткені дәндер қысқа мерзімді жоғары қысым мен температураға ұшырайды. Құрамы жалпы калорияға әсер етуі мүмкін тұқымдар, кебек немесе кептірілген жемістер сияқты қоспалардың болуын ескеру маңызды [17].

Нәтижелер мен талқылау. Зерттеулерге асқабақтың 5 түрлі сортын талдау нәтижесінде күл мөлшері 0,3±0,7-ден 1,3±0,5-ке дейін (г/100 г жас). Әдебиеттану ғылымында асқабақ өсімдігінен алынған мәннен жоғары ұнның құрамында минералды заттардың мөлшері жоғары бұл бар екенін көрсетеді. Бұл зерттеуде әдебиеттегі ақуыз мөлшері тортымен салыстырғанда жоғары екендігі анықталды. Бұл өндіріс тұрғысынан артықшылық ретінде қарастырылды. Өндіруші асқабақ қабығының қосылған қытырлақ нан құрамында ақуыз мөлшері жоғары, жаңа өнім ретінде сатады. Асқабақ ұнтағын күнделікті қолдану диеталық талшыққа бай екенін анықтады. Төменде асқабақ қабығының шамамен құрамы және су белсенділігі кесте-1 анықталды.

Зерттеу нәтижелерін қытырлақ нан (хлебцы) қамырына жақсартқыш ретінде 30% асқабақ дәні мен қабығы қосылған үлгі тиімді нұсқасы деп таңылды.

45% асқабақ қабығы мен дәнінің көрсеткішінде түсі қою қоңыр болып келді. Дәмі мен иісі не келсек асқабақтың иісі мен дәмі сезіледі. Сынының көрінісі талаптарға сай, нәзіктігі сынғыш келген.

15% асқабақ қабығы мен дәнінің көрсеткішінде түсі қоңыр, дәмі мен иісі қытырлақ нан (хлебцы) өніміне тән. Сынғыштығы қопсыған, толық пісірілген өнім, кебексіз, кеуектілігі жеткіліксіз, нәзіктігі сынғыштығы төмен. Қышқылдылығы мен ылғалдылығы талаптарға сай. Төмендегі кесте-2 көрсетілген.

1 - кесте. Асқабақ қабығының шамамен құрамы және су активтілігі

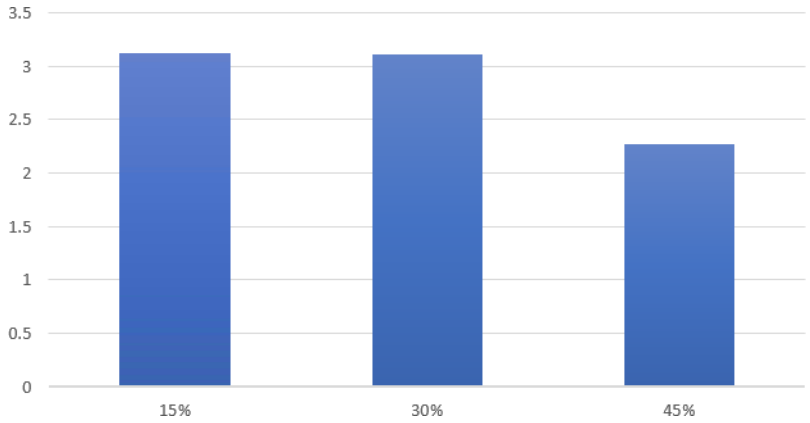
Атауы	Мәні
Күл (%)	4,747±0,055
Талшық (%)	13,393±0,426
Май (%)	0,543±0,042
Ылғалдылық (%)	4,143±0,764
Ақуыз (%)	8,500±0,070
Су активтілігі	0,232±0,120

2 - кесте. Асқабақ компоненттері қосылған тұтас дәнді қытырлақ нанның сапа көрсеткіштері

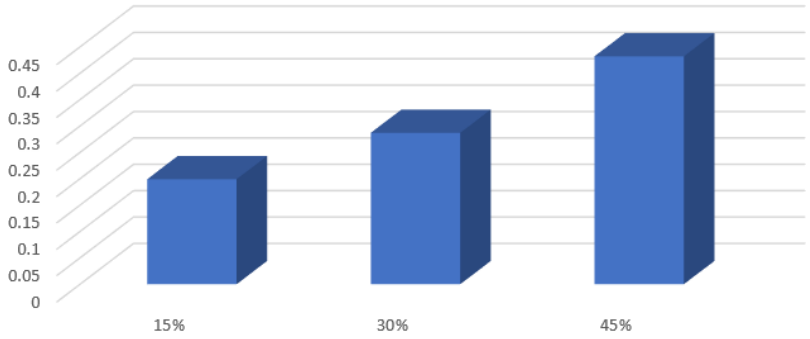
Көрсеткіштердің атауы	Бақылау	Асқабақ қабығы мен дәнінің көрсеткіштері		
		15%	30%	45%
Пішіні	Төртбұрыш, дұрыс пішінді		Төртбұрыш, дұрыс пішінді	Төртбұрыш, пішінді аздап жайылған
Түсі	Ақшыл сұр	Қоңыр	Қоңыр	қою қоңыр
Дәмі және иісі	Хлебцы өніміне тән	Хлебцы өніміне тән	Хлебцы өніміне тән	Асқабақтың иісі аздап сезіледі
Сыныңының көрінісі	Қопсыған, толық пісірілген өнім, кебексіз, кеуектілігі біркелкі	Қопсыған, толық пісірілген өнім, кебексіз, кеуектілігі жеткіліксіз	Қопсыған, толық пісірілген өнім, кебексіз, кеуектілігі біркелкі	Қопсыған, толық пісірілген өнім, кебексіз, кеуектілігі жеткіліксіз
Нәзіктігі	Нәзік, аздап сынғыш	Нәзік, сынғыштығы төмен	Нәзік, аздап сынғыш	Нәзік, сынғыш
Қышқылдылығы, гранд	6	6	6	6,9

Қытырлақ нанның күл мөлшері әдетте 1,5-2,5% аралығында болады, бірақ бұл көрсеткіш нанның құрамындағы ұнның түріне, дайындалу әдісіне және оның рецептіне байланысты өзгеруі мүмкін. Қытырлақ нанның құрамында қолданылатын ұнның типі және оның өңделу дәрежесі күл мөлшерін анықтайды. Егер қытырлақ нанды тұтас дәнді ұннан жасаса, күл мөлшері жоға-

ры болады, себебі тұтас дәнді ұнда дәннің қабығы мен басқа да компоненттері сақталады. Ал рафинацияланған ұннан жасалған нанның күл мөлшері төмен болуы мүмкін. Біздің асқабақ қабығы және дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нанның 30%-дық үлгімізде жоғары көрсеткіш көрсетіп тұр. Яғни 30%-дық асқабақ қабығы және дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нанның күл мөлшері 3,29%. Төмендегі Сурет-2 көрсетілген.



2 - сурет. Асқабақ компоненттері қосылған тұтас дәнді қытырлақ нанның күл мөлшері



3 - сурет. Асқабақ компоненттері қосылған тұтас дәнді қытырлақ нанның су активтілігі (aw)

Қытырлақ нанның су активтілігі (aw) - бұл оның құрамындағы су мөлшерінің микроорганизмдер мен басқа да химиялық процестердің әрекетіне әсерін көрсететін көрсеткіш. Су активтілігі - нанның ылғалдылығына байланысты оның сапасы мен сақтау мерзіміне әсер етеді. Қытырлақ нанның су активтілігі әдетте 0.2 мен 0.6 аралығында болады. Бұл су активтілігінің төмен болуы, яғни нанның құрамындағы су молекулалары микроорганизмдер мен химиялық реакцияларға қатыспайтын формада болады. Осы себептен қытырлақ нан ұзақ уақыт сақталуы мүмкін.

Қытырлақ нанның су активтілігінің төмендігі оның тез бұзылуына жол бермейді және оның қытырлақ құрылымын сақтауға көмектеседі. Су активтілігі төмен болған сайын өнімнің сақтау мерзімі ұзағырақ болады, өйткені микроорганизмдер мен зеңдердің өсуі үшін қолайлы орта болмайды. Біздің салыстырма асқабақ қабығы және дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нанның 15% үлгіміз төмен көрсеткіш көрсетсе, 30% және 45% үлгімізде су активтілігі (aw) талаптарға сай. 15% үлгімізде 0,190±0,002 болса, 45% үлгімізде 0,490±0,003 көрсетті. Ал 30% үлгімізде

0,290±0,002 көрсеткіш көрсетіп отыр. Төменде көрсетілген сурет-3 көре аламыз.

Зерттеу нәтижелерінде Асқабақ қабығы және дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нанның қорыта келгенде қамырына жақсартқыш ретінде 30% асқабақ дәні мен қабығы қосылған үлгіден энергетикалық құндылығын анықтадық. Төмендегі кесте-3 де келтірілген. Асқабақ қабығы және дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нандың (хлебцы) 100г-дағы энергетикалық құндылығы 281,51ккал болып шықты.

3-кесте. Асқабақ қабығы және дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нанның энергетикалық құндылығы, г/100г.

Көрсеткіштер аталуы	Мөлшері, 100 г өнімде		Стандар
	Бақылау	Жаңа хлебцы	
Ақуыз	7,8	10,59±0,05	ГОСТ 34551-2019
Май	1,5	2,32±0,02	ГОСТ 31902-2012
Көмірсулар	55,2	58,27±0,04	ГОСТ 5903-89
Энергетикалық құндылығы, ккал		281,51	

Қорытынды. Асқабақ қабығы мен дәндері қосылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нан (хлебцы) — бұл жоғары тағамдық құндылығы бар әрі денсаулыққа пайдалы өним. Асқабақтың дендері мен қабығының құрамында көп мөлшерде дерумендер, минералы және активті қосындылар бар, олар нанның тағамдық құндылығын айтарлықтай арттырады. Бұл компонентетер асқазан-ішек жолдарының қызметін жақсартып, іш қатудың алдын алып, ас қорыту жүйелерін нығайтады.

Зерттеу нәтижелері бойынша асқабақ қабығы мен дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нанның 30%-дық үлгісі ең жоғары көрсеткішті көрсеткенін атап өткен жөн. Бұл үлгіде күл мөлшері 3,29% болып шықты, бұл оның құрамындағы минералдар мен қоректік заттардың көптігін дәлелдейді. Асқабақ қабығы мен дедері нанның тағамдық құндылығын арттырып, оның минералдық құрамын байытады, бұл өнімнің денсаулыққа пайдалы екенін көресетеді.

Зерттеу барысында асқабақ қабығы мен дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нанның әртүрлі үлгілерінің с активтілігі (ау) бойынша алынған нәтижелер қызығушылық тудырады.15% асқабақ қабығы мен дәнін қосылған үлгіде с активтілігі 0,190±0,002 болып көрсетілген, бұл төмен мән болып табылады және бұл көрсеткіің Талаптарға сәйкес келмейтінін көрсетеді. Алайда, 30% және 45% асқабақ қабығы мен дәні қосылған үлгілерде су активтілігі жоғары болып, 0,290±0,002 және 0,490±0,003 аралығында байқалды.

Зерттеулер барысында, нанның құрамындағы асқабақ қабығы мен дәнінің мөлшерін 15%-дан 45%-ға дейін өзгерту арқылы оның тағамдық және биологическийалық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндик болды. Әр түрлі үлгілердің нәтижелері көрсеткендей, асқабақ қабығы мен дәнін 30%-ға дейін қосу ең оңтайлы нәтижені берді. Бұл нұсқа қытырлақ нанн

Атап айтқанда, асқабақ қабығы мен дәнімен байытылған қытырлақ нанның 100 граммындағы энергетикалық құндылығы 281,51 ккал құрайды, бұл оның жеңіл әрі қоректік тағам болуына ықпал етеді. Сондықтан, бұл өнім диеталық және денсаулыққа пайдалы тамақтануға деген сұранысты қанағаттандыру үшін жақсы таңдау болып табыл

Осылайша, 30%-дық асқабақ қабығы мен дәнімен байытылған тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нан басқа үлгілермен салыстырғанда жоғары нәтижеге болып, өзінің

құрамдық ерекшеліктері мен тағамдық құнды- лығының артықшылығын көрсетті.

Әдебиеттер

1. Бижанова З.К., Алгазинова А.А., Садвакасова М.А., Алтайулы С. Разработка технологии производства хлебобулочных изделий из композиции различных видов зерновых культур // Материалы Республиканской научно-теоретической конференции «Сейфуллинские чтения-12: Молодежь в науке -инновационный потенциал будущего».2016. – Т.1. – С.22-26

2. Байысбаева М.П. Наубайхана өндірісінде қолданылатын шикізаттар мен материалдар // Эверо. - 2017. – 93 б. ISBN 978-601-327-508-6.

3. Байысбаева М.П., Изембаева А.К., Жұманазар Д.Б., Молдақұлова З.Н., Тыным Б.Қ. Зығыр дәнін хлебцы өнімінің рецептурасында қолдану// Алматы технологиялық университетінің хабаршысы. -2023. -№2. –Б.99-106. DOI 10.48184/2304-568X-2023-2-99-106

4. Изембаева А.К., Байысбаева М.П., Молдақұлова З.Н., Байбатыров Т.А. Бүтін тартылған ұндар қоспасынан дайындалған нан өнімінің сапасын бағалау // Алматы технологиялық университетінің хабаршысы. - 2022. - №2. - Б.67-73. DOI 10.48184/2304-568X-2022-1-67-73.

5. Батырбаева Н.Б., Рустемова А.Ж., Аскарбеков Э.Б. Дәнді-бұршақ қоспасынан нан дайындау технологиясы // Алматы технологиялық университетінің хабаршысы. - 2022. -№2. - Б.23-29. DOI 10.48184/2304-568X-2022-1-23-29.

6. Алашбаева Л.Ж., Боранкулова А.С., Турсунбаева Ш.А., Нургожина Ж.К., Баялы А.А. Функционалды бағыттағы нан өнімдерінің технологиясы // Шәкәрім Университетінің Хабаршысы. Техникалық ғылымдар сериясы. -2024. - №.1(13). -Б.81-89. DOI 10.53360/2788-7995-2024-1(13)-11.

7. Жумалиева Г.Е., Чоманов У.Ч., Актокалова Г.С., Идаятова М., Тултабаев Н. Разработка технологии купажированных соков на основе тыквы // Алматы технологиялық университетінің хабаршысы. -2023. - №1. - С. 63-72. DOI 10.48184/2304-568X-2023-1-63-72.

8. Икрами М.Б., Шарипова М.Б., Абдуллоева Х.Ф. Влияние некоторых факторов на водоудерживающую и жироудерживающую способности тыквенной муки // Алматы технологиялық университетінің хабаршысы. -2023. -№4. - С. 156-164. DOI 10.48184/2304-568X-2023-4-156-164

9. Саидов А.М., Калитка Д.А., Молдахметова З.К., Екатеринская Е.М., Жангабылова Н.Д., Балгужинова Ж.Е. Тұтас дәнді ұн қосылған макарон өнімдерінің рецептурасын әзірлеу // Алматы технологиялық университетінің хабаршысы. - 2022.- №4. -Б.69-75. DOI 10.48184/2304-568X-2022-4-69-75.

10. Kar S., Dutta S., Yasmin R. A comparative study on phytochemicals and antioxidant activity of different parts of pumpkin (Cucurbita maxima) // Food Chemistry Advances. -2023. -Vol.3:100505. DOI 10.1016/j.focha.2023.100505.

11. Aquino-Bolaños E.N., Urrutia-Hernández T.A., López Del Castillo-Lozano M., Chavéz-Servia J.L., Verdalet-Guzmán I. Physicochemical Parameters and Antioxidant Compounds in Edible Squash (Cucurbita pepo) Flower Stored under Controlled Atmospheres // Journal of Food Quality. - 2013. - Vol.36(5). – P.302–308. DOI 10.1111/jfq.12053.

12. Vaher M., Matso K., Levandi T., Helmja K., Kaljurand M. Phenolic compounds and the antioxidant activity of the bran, flour and whole grain of different wheat varieties // Procedia Chemistry. - 2010. - Vol.2(1). - P.76-82. DOI 10.1016/j.proche.2009.12.013.

13. Hussain A., Kausar T., Sehar S., Sarwar A., Ashraf A.H., Jamil M.A., Noreen S., Rafique A., Iftikhar K., Quddoos M.Y., Aslam J., Majeed M.A. A Comprehensive review of functional ingredients, especially

bioactive compounds present in pumpkin peel, flesh and seeds, and their health benefits // Food Chemistry Advances. - 2022. -Vol. 1:100067. DOI 10.1016/j.focha.2022.100067.

14. Szymczycha-Madeja A. Rapid method of element determination in rye crispbread by ICP OES // Arabian Journal of Chemistry.-2017.-Vol.10.- P. S3913-S3919. DOI 10.1016/j.arabjc.2014.05.031.

15. Алибаева Д.Қ., Иманбаев А.Ж., Hulya Gul, Есиркеп Г.Е., Нармандах Ж. Асқабақ құрамдас бөліктерінен тұтас дәнді бидай ұнынан жасалған қытырлақ нан. Бөлім 1. Витаминдік құрамы мен микробиологиялық зерттеулері // Вестник КазУТБ.- 2025. - №1(26). -Б.246-259. DOI 10.58805/kazutb.v.1.26-833.

16. Hagos M., Chandravanshi B., Redi-Abshiro M., Yaya E. E. Determination of total phenolic, total flavonoid, ascorbic acid contents and antioxidant activity of pumpkin flesh, peel and seeds // The Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia.- 2023.-Vol.37(5).-P.1093-1108. DOI 10.4314/bcse.v37i5.3.

17. Hagos M., Redi-Abshiro M., Chandravanshi B. S., Yaya E. E. Development of analytical methods for determination of β-carotene in pumpkin (Cucurbita maxima) flesh, peel, and seed powder samples //International Journal of Analytical Chemistry.-2022.-Vol.2022 (1):9363692. DOI 10.1155/2022/9363692.

References

1. Bizhanova Z.K., Algazinova A.A., Sadvakasova M.A., Altajuly S. Razrabotka tehnologii proizvodstva hlebobulochnyh izdelij iz kompozicii razlichnyh vidov zernovyh kul’ tur // Materialy Respublikanskoj nauchno-teoreticheskoj konferencii «Sejfullinskie chtenija-12: Molodezh’ v nauke -innovacionnyj potential budushhego».2016. - T.1. - S.22-26 [in Russian]

2. Bajysbaeva M.P. Naubajhana өndirisinde қoldanylatyn shikizattar men materialdar // Jevero. - 2017. - 93 b. ISBN 978-601-327-508-6. [in Kazakh]

3. Bajysbaeva M.P., Izembaeva A.K., Zhұmanazar D.B., Moldaқұlova Z.N., Tynym B.Қ. Zyғyr dənin hlebcy өniminің recepturasynda қoldanu// Almaty tehnologijalyқ universitetinің habarshysy. -2023. -№2. - B.99-106. DOI 10.48184/2304-568X-2023-2-99-106. [in Kazakh]

4. Izembaeva A.K., Bajysbaeva M.P., Moldaқұlova Z.N., Bajbatyrov T.A. Bүtin tartylғan ұndar қospasynan dajyndalғan nan өniminің sapasyn bағalau // Almaty tehnologijalyқ universitetinің habarshysy. - 2022. - №2. - B.67-73. DOI 10.48184/2304-568X-2022-1-67-73. [in Kazakh]

5. Batyrbaeva N.B., Rustemova A.Zh., Askarbekov Je.B. Dəndi-bұrshaқ қospasynan nan dajyndau tehnologijasy // Almaty tehnologijalyқ universitetinің habarshysy. - 2022. -№2. - B.23-29. DOI 10.48184/2304-568X-2022-1-23-29. [in Kazakh]

6. Alashbaeva L.Zh., Borankulova A.S., Tursunbaeva Sh.A., Nurgozhina Zh.K., Bajaly A.A. Funkcionaldy bағyttaғy nan өnimderinің tehnologijasy // Shəkərim Universitetinің Habarshysy. Tehnikalyқ ғylymdar serijasy. -2024. - №.1(13). -B.81-89. DOI 10.53360/2788-7995-2024-1(13)-11. [in Kazakh]

7. Zhumalieva G.E., Chomanov U.Ch., Aktokalova G.S., Idajatova M., Tultabaev N. Razrabotka tehnologii kupazhirovannyh sokov na osnove tykvy // Almaty tehnologijalyқ universitetinің habarshysy. -2023. - №1. - C. 63-72. DOI 10.48184/2304-568X-2023-1-63-72. [in Russian]

8. Ikrami M.B., Sharipova M.B., Abdulloeva H.F. Vlijanie nekotoryh faktorov na vodouderzhivajushhuju i zhirouderzhivajushhuju sposobnosti tykvennoj muki // Almaty tehnologijalyқ universitetinің habarshysy. -2023. -№4. - C.156-164. DOI 10.48184/2304-568X-2023-4-156-164. [in Russian]

9. Saidov A.M., Kalitka D.A., Moldahmetova Z.K., Ekaterinskaja E.M., Zhangabylova N.D., Balguzhin-

ova Zh.E. Tұtas dəndi ұn қosylғan makaron өnimderinің recepturasyn əzirleu // Almaty tehnologijalyқ universitetinің habarshysy. - 2022.- №4. -B.69-75. DOI 10.48184/2304-568X-2022-4-69-75. [in Kazakh]

10. Kar S., Dutta S., Yasmin R. A comparative study on phytochemicals and antioxidant activity of different parts of pumpkin (Cucurbita maxima) // Food Chemistry Advances. -2023. -Vol.3:100505. DOI 10.1016/j.focha.2023.100505.

11. Aquino-Bolaños E.N., Urrutia-Hernández T.A., López Del Castillo-Lozano M., Chavéz-Servia J.L., Verdalet-Guzmán I. Physicochemical Parameters and Antioxidant Compounds in Edible Squash (Cucurbita pepo) Flower Stored under Controlled Atmospheres // Journal of Food Quality. - 2013. - Vol.36(5). – P.302–308. DOI 10.1111/jfq.12053.

12. Vaher M., Matso K., Levandi T., Helmja K., Kaljurand M. Phenolic compounds and the antioxidant activity of the bran, flour and whole grain of different wheat varieties // Procedia Chemistry. - 2010. -Vol. 2(1). - P.76-82. DOI 10.1016/j.proche.2009.12.013.

13. Hussain A., Kausar T., Sehar S., Sarwar A., Ashraf A.H., Jamil M.A., Noreen S., Rafique A., Iftikhar K., Quddoos M.Y., Aslam J., Majeed M.A. A Comprehensive review of functional ingredients, especially bioactive compounds present in pumpkin peel, flesh and seeds, and their health benefits // Food Chemistry Advances. - 2022. -Vol.1:100067. DOI 10.1016/j.focha.2022.100067.

14. Szymczycha-Madeja A. Rapid method of element determination in rye crispbread by ICP OES // Arabian Journal of Chemistry.-2017.-Vol.10.- P. S3913-S3919. DOI 10.1016/j.arabjc.2014.05.031.

15. Alibaeva D.Қ., Imanbaev A.Zh., Hulya Gul, Esirkep G.E., Narmandah Zh. Asқabaқ құramdas bөliktеrinen tұtas dəndi bidaj ұnynan zhasalғan қytyrlaқ nan. Bөlim 1. Vitamindik құramy men mikrobiologijalyқ zertteuleri // Vestnik KazUTB.- 2025. - №1(26). -B.246-259. DOI 10.58805/kazutb.v.1.26-833. [in Kazakh]

16. Hagos M., Chandravanshi B., Redi-Abshiro M., Yaya E. E. Determination of total phenolic, total flavonoid, ascorbic acid contents and antioxidant activity of pumpkin flesh, peel and seeds // The Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia.- 2023. -Vol.37(5).-P.1093-1108. DOI 10.4314/bcse.v37i5.3.

17. Hagos M., Redi-Abshiro M., Chandravanshi B. S., Yaya E. E. Development of analytical methods for determination of β-carotene in pumpkin (Cucurbita maxima) flesh, peel, and seed powder samples //International Journal of Analytical Chemistry.-2022.-Vol.2022 (1):9363692. DOI 10.1155/2022/9363692.

Авторлар туралы мәліметтер

Алибаева Д. Қ. - техника ғылымдарының магистрі, докторант, Мұхтар Ауезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университетіі, Шымкент, Қазақстан, e-mail: dinaalibayeva3@gmail.com;

Иманбаев А. Ж.- техника ғылымдарының кандидаты, (доцент), Мұхтар Ауезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті, Шымкент, Қазақстан.,e-mail: Algo79@mail.ru;

Hülya Gül - Professor, Süleyman Demirel University, Isparta/Türkiye, e-mail: hulyagul@sdu.edu.tr;

Есиркеп Г. Е. – техника ғылымдарың кандидаты, қауымдастырылған профессор (доцент), Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: milana.anar@mail.ru;

Нармандах Ж. – магистр, ассистент, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: zhupar10_89@mail.ru.

Information about the authors

Alibayeva D. K. - Master of Technical Sciences, PhD student, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: dinaalibayeva3@gmail.com;

Imanbayev A. Z. - Candidate of Technical Sciences, (Docent), M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: Algo79@mail.ru;

Hülya Gül - Professor, Süleyman Demirel University, Isparta, Türkiye, e-mail: hulyagul@sdu.edu.tr;

Yesirkep G. Y. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (Docent), K. Kulazhonov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan. e-mail: milana.anar@mail.ru;

Narmandakh Z. – Master’s Degree, Assistant, K. Kulazhonov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhupar10_89@mail.ru.

МРНТИ 65.63.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1136**

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАКВАСОК ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ МОЛОКА С НИЗКИМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФОРТИФИЦИРОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ

А.М. Таева, Т.К. Кулажанов, Ф.Т. Диханбаева, Р.Б. Мухтарханова, Ж.К. Имангалиева

Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: e-mail: i.zhadra@mail.ru

Настоящая статья посвящена исследованию возможности эффективной ферментации пастеризованного молока стародойных коров с использованием различных типов заквасочных культур. Данный тип сырья характеризуется пониженными технологическими характеристиками, включая сниженную плотность, белковую насыщенность и нестабильность жировой фазы. В условиях растущей доли нестабильного молочного сырья на перерабатывающих предприятиях возникает необходимость адаптации технологических процессов. В рамках проекта AP 23488862 был проведён сравнительный анализ пяти промышленных заквасок, применённых к нестабильному молоку. Оценивались скорость ферментации, конечные показатели кислотности, консистенция, вязкость и устойчивость полученного продукта при хранении. На основании результатов установлено, что наиболее эффективной в условиях пониженной технологической пригодности сырья оказалась закваска YO-MIX 465 (Danisco), обеспечивающая стабильный сгусток, высокую вязкость и консистенцию при минимальном отделении сыворотки. Представленные данные демонстрируют возможность эффективной переработки нестабильного сырья при правильно подобранной ферментационной технологии, что имеет важное прикладное значение для молочной промышленности, особенно в сезонном цикле лактации.

Ключевые слова: молоко стародойных коров, технологическая пригодность, закваски, консистенция, кислотность, кисломолочная продукция

ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ ТӨМЕН ПАСТЕРЛЕНГЕН СҮТТІ ӨҢДЕУДЕ ФОРТИФИКАЦИЯЛАНҒАН ӨНІМДЕРДІ ӨНДІРУ ҮШІН АШЫТҚЫЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

А.М. Таева, Т.К. Кулажанов, Ф.Т. Диханбаева, Р.Б. Мухтарханова, Ж.К. Имангалиева

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

Бұл мақалада лактацияның соңғы кезеңінде алынған сиыр сүтін әртүрлі ашытқы дақылдарын пайдалану арқылы тиімді ашыту мүмкіндігін зерттеу нәтижелері келтірілген. Мұндай шикізаттың технологиялық сипаттамалары төмен, атап айтқанда тығыздығы төмен, ақуыздың аз мөлшері және май фазасының тұрақсыздығы байқалады. Сүт зауыттарында тұрақсыз сүттің үлесі артқан қазіргі жағдайда технологиялық процестерді бейімдеу қажеттілігі туындап отыр. AP 23488862 жобасы аясында тұрақсыз сүтке қолданылған бес өндірістік ашытқының салыстырмалы талдауы жүргізілді. Ашыту жылдамдығы, соңғы қышқылдық көрсеткіштері, консистенциясы, тұтқырлығы және сақтау кезіндегі өнімнің тұрақтылығы бағаланды. Зерттеу нәтижелері бойынша YO-MIX 465 (Danisco) ашытқысы технологиялық көрсеткіштері төмен шикізат жағдайында ең тиімдісі болып танылды. Ол тұрақты ұйытқы, жоғары тұтқырлық және консистенция беріп, сарысу бөлінуін азайтты. Бұл мәліметтер дұрыс таңдалған ашыту технологиясы кезінде тұрақсыз сүтті тиімді өңдеуге болатынын көрсетеді және бұл маусымдық лактация кезеңінде сүт өнеркәсібі үшін практикалық маңызы зор екенін дәлелдейді.

Түйін сөздер: сиыр сүті, технологиялық жарамдылық, ашытқылар, консистенция, қышқылдық, қышқыл сүт өнімдері.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF STARTER CULTURES IN THE PROCESSING OF PASTEURIZED MILK WITH LOW TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS FOR THE PRODUCTION OF FORTIFIED PRODUCTS

A.M. Taeva, T.K. Kulazhanov, F.T. Dikhanbayeva, R. B. Mukhtarkhanova, Zh.K. Imangaliyeva

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

This article presents a study on the potential for effective fermentation of pasteurized milk from late-lactation cows using various types of starter cultures. This type of raw material is characterized by reduced technological properties, including low density, protein content, and instability of the fat phase. With the growing proportion of unstable milk in processing plants, there is a need to adapt technological processes. Within the framework of project AR 23488862, a comparative analysis was conducted on five commercial starter cultures applied to unstable milk. The following indicators were assessed: fermentation speed, final acidity parameters, consistency, viscosity, and product stability during storage. Based on the results, the most effective starter culture under conditions of reduced technological suitability of raw milk was YO-MIX 465 (Danisco), which ensured a stable coagulum, high viscosity, and consistency with minimal whey separation. The presented data demonstrate the feasibility of efficiently processing unstable milk when using a well-selected fermentation technology, which is of significant practical importance for the dairy industry, particularly during the seasonal lactation cycle.

Keywords: late-lactation cow milk, technological suitability, starter cultures, consistency, acidity, fermented dairy products.

Введение. Современная молочная промышленность сталкивается с необходимостью переработки нестабильного сырья, особенно в периоды сезонного снижения удоев. Одним из таких видов сырья является молоко, полученное от коров в поздний период лактации (с 270 по 310 день). Это молоко, которое часто называют молоком стародойных коров, отличается рядом особенностей, снижающих его технологическую ценность. В частности, у него отмечается более низкая плотность, нестабильная структура белков и жиров, ослабленная буферная способность, а также пониженное содержание белка и минеральных веществ [1, 2]. Кроме того, наблюдается увеличение активности протеолитических ферментов и повышение содержания соматических клеток, что дополнительно ухудшает его перерабатываемость [3].

Такие изменения связаны с естественными физиологическими процессами, происходящими в организме животного на завершающем этапе лактации, и отрицательно сказываются на способности молока участвовать в технологических процессах, особенно в производстве кисломолочной продукции [4, 5].

Одним из эффективных решений в работе с нестабильным молоком является применение специально подобранных заквасок, которые способны адаптироваться к изменениям в составе сырья и компенсировать его недостатки [6]. Особенно перспективными считаются закваски с высокой ферментативной активностью, в том числе термофильные и пробиотические культуры, такие как *Streptococcus thermophilus, Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus, Lactobacillus rhamnosus и Bifidobacterium lactis* [7]. Такие культуры положительно влияют на текстуру, кислотность и стабильность продукта даже при использовании нестандартного молока [8, 9].

С учётом вышесказанного, данная работа направлена на то, чтобы оценить, какие закваски наиболее эффективно работают с молоком, имеющим пониженные физико-химические показатели. Исследование направлено на сравнительный анализ эффективности различных заквасочных культур при переработке пастеризованного молока от стародойных коров, а также на разработку практических рекомендаций по его применению в производстве функциональных кисло-

молочных продуктов.

Материалы и методы. В качестве сырья использовалось пастеризованное молоко, полученное от коров в период поздней лактации (270–310 день), что подтверждалось данными зоотехнического учёта в личных и фермерских хозяйствах Алматинской области. Молоко пастеризовалось при температуре 76 °C в течение 20 секунд, после чего охлаждалось до температуры +4 °C и хранилось не более 24 часов до начала заквашивания.

Предварительный физико-химический анализ сырья проводился по стандартным методикам. Результаты представлены в таблице 1. Стандартные значения показателей приведены в соответствии с требованиями СТ РК 1760-2008 [10].

Таблица 1 - Физико-химические характеристики молока стародойных коров

Показатель	Значение	Стандартное значение [10]
Плотность, кг/м³	26.7	27–28
Массовая доля белка, %	2.8	≥3.0
Массовая доля жира, %	3.5	3.5–3.8
Зольность, %	0.68	≥0.72
Активная кислотность (pH)	6.57	6.6–6.8
Титруемая кислотность, °T	17	16–18
Антибиотики	Не обнаружены	—
Общая микробиологическая обсеменённость, КОЕ/мл	10	≤100

Таблица 2 - Характеристика заквасок, использованных в исследовании

Код закваски	Производитель	Состав	Температура ферментации
ZK-1	Chr. Hansen ABT-5	L. acidophilus, B. animalis, S. thermophilus	42 ± 1 °C
ZK-2	Danisco YO-MIX 465	L. rhamnosus, B. lactis	42 ± 1 °C
ZK-3	Lallemand Probiokid	L. rhamnosus, S. thermophilus, B. infantis	40 ± 1 °C
ZK-4	Пробиотика (РФ)	L. acidophilus, L. plantarum	30 ± 1 °C
ZK-5	Chr. Hansen YF-L811	L. bulgaricus, S. thermophilus	43 ± 1 °C

Для исследования были выбраны пять коммерчески доступных заквасочных препаратов, различающихся по составу, термочувствительности и назначению. Описание приведено в таблице 2.

Комплексная оценка эффективности заквасок включала следующие показатели: время, необходимое для достижения pH 4.6 (в часах), конечное значение активной кислотности (pH), титруемая кислотность в градусах Тернера (°T), визуальные и инструментальные характеристики консистенции и текстуры полученного сгустка (в том числе с использованием вискозиметра ATAGO), степень отделения сыворотки, а так-

же стабильность образцов на 7-е сутки хранения при температуре +4 °C. Все измерения проводились на базе лаборатории кафедры «Технология продуктов питания» Алматинского технологического университета. Каждый показатель определялся в трёх параллельных сериях.

Обсуждение и результаты. Одним из ключевых показателей технологической пригодности закваски является способность быстро и полноценно подкислять молочную среду [11]. Этот процесс определяет, как микробиологическую стабильность конечного продукта, так и его органолептические и текстурные характеристики [12]. В условиях переработки нестабильного молока (в данном случае - стародойного) скорость сквашивания особенно важна, поскольку слабая буферная способность такого молока может приводить к неполному формированию сгустка или его разрушению при колебаниях кислотности [13].

На рисунке 1 представлена динамика закисления для всех пяти протестированных заквасок. Время достижения pH 4.6 было принято в качестве индикатора завершённости первичной ферментации.

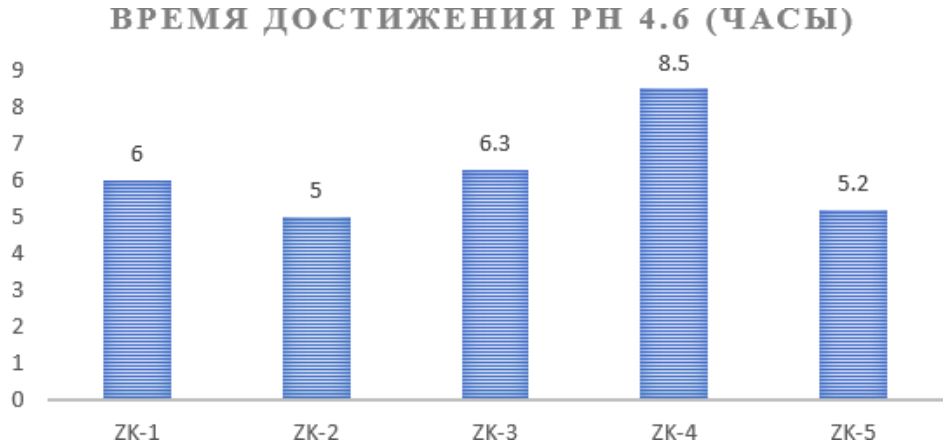


Рис.1 - Время достижения pH 4.6 в зависимости от типа закваски (часы)

Таблица 3 - Конечные значения кислотности после ферментации

Закваска	pH после сквашивания	Титруемая кислотность, °T
ZK-1	4.42	95
ZK-2	4.40	100
ZK-3	4.45	88
ZK-4	4.60	78
ZK-5	4.43	93

Как видно из данных, наиболее быстрым закислением характеризовались закваски YO-MIX 465 (ZK-2) и YF-L811 (ZK-5). Они достигли критического значения pH менее чем за 5.5 часов, что соответствует промышленным требованиям для скоропортящихся молочных продуктов. Медленнее всего закисление происходило у мезофильной культуры ZK-4, что делает её менее пригодной для переработки молока с ослабленной структурой.

Следующим этапом оценки являлось измерение конечной кислотности продукта. Таблица 3

отражает итоговые значения активной и титруемой кислотности.

Закваска YO-MIX 465 (ZK-2) не только обеспечила наименьший pH (4.40), но и показала наивысшую титруемую кислотность - 100 °T, что свидетельствует о её высокой ферментативной активности. В условиях слабой буферной способности стародойного молока важно: чем выше кислотность, тем прочнее и стабильнее структура сгустка, а также снижается риск нежелательных микробиологических процессов.

В противоположность этому, закваска ZK-4 (мезофильная) продемонстрировала наименьшую кислотность, с конечным pH 4.60 и титруемой кислотностью 78 °T, что является гранично допустимым уровнем для сквашенного продукта и может повлечь неустойчивую текстуру или неполную коагуляцию белков.

Одним из ключевых показателей качества кисломолочных продуктов, в частности йогуртов, является их структурная устойчивость в процессе хранения. Для оценки стабильности сгустка исследуемых образцов йогурта были проанализированы следующие параметры: визуальная консистенция (оценка текстуры и однородности), вязкость по данным вискозиметра Atago VISCO, степень отделения сыворотки (в миллилитрах на 100 мл продукта), а также изменение pH в течение хранения при температуре +4 °C в течение 7 суток. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Оценка текстуры и стабильности образцов йогурта после 7 суток хранения

Код закваски	Консистенция	Вязкость (сП)	Отделение сыворотки (мл/100 мл)	pH начальное	pH итоговое
ZK-1	Плотная, умеренно устойчивая	1450	2.0	4.42	4.37
ZK-2	Кремообразная, устойчивая	1780	0.0	4.40	4.38
ZK-3	Средняя, гомогенная	1380	1.5	4.45	4.41
ZK-4	Разжиженная, нестабильная	920	6.0	4.60	4.59
ZK-5	Плотная, стабильная	1500	0.0	4.43	4.37

Наиболее высокие показатели вязкости были зафиксированы у образца ZK-2, в котором использовалась закваска YO-MIX 465 (Danisco). Его вязкость составила 1780 сантипуаз (сП), что является максимальным значением среди исследованных образцов. Кроме того, у этого варианта полностью отсутствовало отделение сыворотки и наблюдались минимальные изменения pH (с 4.40 до 4.38), что указывает на высокую структурную устойчивость и стабильность кислотности.

Образец ZK-5 с классической термофильной закваской (Chr. Hansen YF-L811) также показал хорошие результаты: вязкость 1500 сП, отсутствие сыворотки и стабильность pH (с 4.43 до 4.37). Консистенция продукта оценена как плотная и стабильная, что делает данную закваску пригодной для промышленной переработки нестабильного молока, особенно в сезонные периоды.

Хуже всего проявила себя закваска ZK-4, представленная мезофильной культурой, включающей *Lactobacillus acidophilus u L. plantarum.* Образец имел самую низкую вязкость (920 сП), выраженное отделение сыворотки (6 мл/100 мл) и нестабильную, разжиженную консистенцию.

Изменения pH в данном случае были незначительными (с 4.60 до 4.59), однако структура продукта оставляла желать лучшего.

Промежуточные результаты продемонстрировали образцы ZK-1 и ZK-3, где были использованы симбиотические и пробиотические культуры. У ZK-1 отмечалась вязкость 1450 сП и небольшое отделение сыворотки (2 мл/100 мл), при этом pH изменился с 4.42 до 4.37. У ZK-3 показатели были несколько ниже: вязкость 1380 сП, отделение сыворотки 1.5 мл/100 мл, изменение pH – с 4.45 до 4.41. Оба варианта можно расценивать как удовлетворительные, однако с точки зрения стабильности они уступают термофильным культурам YO-MIX 465 и YF-L811.

Таким образом, результаты анализа текстурных и кислотных характеристик после 7 суток хранения подтверждают, что термофильные закваски, особенно YO-MIX 465, обеспечивают оптимальные показатели вязкости, устойчивости и кислотности. Эти свойства являются критически важными при работе с нестабильным молоком стародойных коров, поскольку позволяют компенсировать недостатки сырья и получить продукт высокого качества. Кроме того, высокая вязкость и стабильность кислотности напрямую влияют на органолептические свойства, срок годности и коммерческую привлекательность конечной продукции.

В исследовании было установлено, что закваска YO-MIX 465 обеспечивает быструю ферментацию (5 часов до pH 4.40), минимальный уровень отделения сыворотки, а также формирует стабильную кремовую консистенцию, что согласуется с выводами авторов [11], которые обнаружили, что активность NADH-оксидазы у S. thermophilus определяет скорость образования формиата и снижает время закисления, улучшая при этом коагуляцию белков молока.

Одной из ключевых задач при производстве функциональных кисломолочных продуктов остаётся достижение оптимального баланса между сенсорными и физико-химическими характеристиками. Исследования Marco et al. (2017) и Liu et al. (2024) подчёркивают, что ферментация не только формирует текстуру, но и улучшает пищевую ценность за счёт высвобождения биоактивных соединений. Это особенно актуально при работе с нестабильным молоком, например, полученным в позднюю лактацию, где буферная способность и содержание белков понижены [14, 15].

Ранее Savaiano and Hutkins (2021) обосновали, что регулярное потребление йогурта снижает риски развития гипертонии и нарушений липидного обмена, что делает продукты с пробиотическими культурами особенно ценными для функционального питания. Следовательно, внедрение эффективных заквасок на нестабильное молоко способно обеспечить выпуск продукции с добавленной оздоровительной ценностью [16].

Таким образом, полученные данные позволяют рекомендовать YO-MIX 465 как предпочтительную закваску для ферментации молока от стародойных коров, обеспечивающую технологическую устойчивость и высокое качество конечного продукта, соответствующее современным требованиям пищевой безопасности и функциональности.

Выводы. Проведённое экспериментальное исследование подтвердило, что переработка молока стародойных коров, характеризующегося пониженными технологическими показателями, возможна при условии тщательного выбора заквасочной культуры. Несмотря на допустимые санитарные и химические параметры, такое молоко демонстрирует пониженную плотность, зольность и белковую насыщенность, что снижает его стабильность в процессе ферментации. Применение неподходящих заквасок приводит к ухудшению текстуры, отделению сыворотки и нестабильности готового продукта при хранении.

Проведённая сравнительная оценка пяти типов заквасок продемонстрировала, что наилучшие технологические результаты достигаются при использовании термофильных культур, обладающих высокой скоростью ферментации и устойчивостью к условиям слабобуферной молочной среды, характерной для молока стародойных коров. Особенно эффективной в данном контексте проявила себя заквасочная культура

YO-MIX 465 (производства Danisco), которая обеспечила максимальную кислотность конечного продукта (активная кислотность - pH 4.40; титруемая кислотность - 100 °Т), высокую скорость сквашивания (время достижения pH 4.6 составило 5.0 часов), а также отличалась формированием стабильной и кремообразной консистенции. Важным преимуществом данной культуры стало полное отсутствие отделившейся сыворотки и минимальные колебания уровня pH в течение всего срока хранения, что свидетельствует о высокой стабильности продукта и надёжности закваски при переработке нестабильного сырья.

***Финансирование**. Исследование выполнено в рамках проекта AP23488862, финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

Литература

1. Диханбаева Ф.Т., Мухтарханова Р.Б., Имангалиева Ж.К., Есенова А.Б., Тапалова Д.Б. Создание обогащённых продуктов из молочного сырья с низкими технологическими показателями // Вестник Алматинского технологического университета. - 2024. - Т.145 (3). – С.136-145. DOI 10.48184/2304-568X-2024-3-136-145.

2. Толкунова Н.Н., Прянишников В.В., Жучков А.А. Современные белковые препараты: научные основы производства, способы их введения в пищевые системы: учебно-методическое пособие для высшего профессионального образования / Орёл: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК». - 2014. – 88 с. ISBN 978-5-93932-708-4.

3. Кононенко С.И. Актуальные проблемы организации кормления в современных условиях // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 115 (01). – С.951-980.

4. Гаврилова Н.Б., Щетинин М.П. Технология молока и молочных продуктов: традиции и инновации // Москва: Колос. - 2012. – 544 с. ISBN 978-5-9532-0809-3.

5. Adolfsson O., Meydani S.N., Russell R.M. Yogurt and gut function // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2004. – Vol.80(2). – P.245-256. DOI 10.1093/ajcn/80.2.245.

6. Огнева О.А., Безверхая Н.С. Технология молочных продуктов функционального и специального назначения// Краснодар: КубГАУ. - 2019. – 179 с. ISBN 978-5-00097-847-4.

7. Каночкина М.С., Жукова И.В., Шишова Н.В., и др. Особенности подбора заквасочных культур в производстве функциональных кисломолочных продуктов // Вестник Мурманского государственного технического университета. - 2023.-Т.26(4). - С.511-528. DOI 10.21443/1560-9278-2023-26-4-511-528.

8. Aguilar-Toalá J.E., Garcia-Varela R., Garcia H.S., Mata-Haro V., González-Córdova A.F., Vallejo-Cordoba B., Hernández-Mendoza A. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field // Trends in Food Science & Technology.-2018.-Vol.75. -P.105-114. DOI 10.1016/j.tifs.2018.03.009.

9. Fan X., Zhou Y., Liu Y., Sun J., Liu C., Li H., Zhang W. Effects of Semen Ziziphi Spinosae extract and binary probiotics co-fermentation on the quality of yogurt and their underlying molecular mechanisms // Food Chemistry: X. - 2024. - Vol.21.- P.101191. DOI 10.1016/j.fochx.2024.10119.

10. СТ РК 1760-2008. Молоко коровье. Технические условия. – Астана: Комитет технического регулирования и метрологии МИНТ РК. - 2008.- 19с. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31684371.- Дата обращения: 16.05.2025.

11. Shori A.B. Influence of food matrix on the viability of probiotic bacteria: A review based on dairy and non-dairy beverages//Food Bioscience.-2016. -Vol.13.- P.1-8. DOI 10.1016/j.fbio.2015.11.001.

12. Burak L. Modern methods of food processing. Critical review// ResearchGate. - 2024. DOI 10.5281/zenodo.10632041.

13. Ускова Д.Г., Попова Н.В., Ботвинникова В.В. Инновационные подходы в формировании потребительских свойств восстановленных молочных продуктов на примере йогуртов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. -2016. - № 2. - С. 203-213. DOI 10.14529/food160203.

14. Liu S., Chen Y., Huang R., et al. Validation of an Optical Technology for the Determination of pH in Milk during Yogurt Manufacture // Foods. – 2024. – Vol.13(17): 2766. DOI 10.3390/foods13172766.

15. Marco M.L., Sanders M.E., Ganzle M., et al. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond // Current Opinion in Biotechnology. – 2017. – Vol.44. – P.94-102. DOI 10.1016/j.copbio.2016.11.010.

16. Savaiano D.A., Hutkins R.W. Yogurt, cultured fermented milk, and health: A systematic review // Nutrition Reviews. – 2021. – Vol. 79(5). – P.599-614. DOI 10.1093/nutrit/nuaa013.

References

1. Dihanbaeva F.T., Muhtarhanova R.B., Imangalieva Zh.K., Esenova A.B., Tapalova D.B. Sozdanie obogashhjonnyh produktov iz molochnogo syr’ ja s nizkimi tehnologicheskimi pokazateljami // Vestnik Almatinskogo tehnologicheskogo universiteta. - 2024. - T.145 (3). - S.136-145. DOI 10.48184/2304-568X-2024-3-136-145. [in Russian]

2. Tolkunova N.N., Prjanishnikov V.V., Zhuchkov A.A. Sovremennye belkovye preparaty: nauchnye osnovy proizvodstva, sposoby ih vvedenija v pishhevye sistemy: uchebno-metodicheskoe posobie dlja vysshego professional’ nogo obrazovanija / Orjol: FGBOU VPO «Gosuniversitet-UNPK». - 2014. – 88 s. ISBN 978-5-93932-708-4. [in Russian]

3. Kononenko S.I. Aktual’ nye problemy organizacii kormlenija v sovremennyh uslovijah // Nauchnyj zhurnal KubGAU. - 2016. - № 115 (01). - S.951-980. [in Russian]

4. Gavrilova N.B., Shhetinin M.P. Tehnologija moloka i molochnyh produktov: tradicii i innovacii // Moskva: Kolos. - 2012. - 544 s. ISBN 978-5-9532-0809-3. [in Russian]

5. Adolfsson O., Meydani S.N., Russell R.M. Yogurt and gut function // The American Journal of Clinical Nutrition. – 2004. – Vol.80(2). – P.245-256. DOI 10.1093/ajcn/80.2.245.

6. Ogneva O.A., Bezverhaja N.S. Tehnologija molochnyh produktov funkcional’ nogo i special’ nogo

naznachenija// Krasnodar: KubGAU. - 2019. – 179 s. ISBN 978-5-00097-847-4. [in Russian]

7. Kanochkina M.S., Zhukova I.V., Shishova N.V., i dr. Osobennosti podbora zakvasochnyh kul’ tur v proizvodstve funkcional’ nyh kislomolochnyh produktov // Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. - 2023. -T.26(4). - S.511-528. DOI 10.21443/1560-9278-2023-26-4-511

528. [in Russian]

8. Aguilar-Toalá J.E., Garcia-Varela R., Garcia H.S., Mata-Haro V., González-Córdova A.F., Vallejo-Cordoba B., Hernández-Mendoza A. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field // Trends in Food Science & Technology.-2018.-Vol.75. -P.105-114. DOI 10.1016/j.tifs.2018.03.009.

9. Fan X., Zhou Y., Liu Y., Sun J., Liu C., Li H., Zhang W. Effects of Semen Ziziphi Spinosae extract and binary probiotics co-fermentation on the quality of yogurt and their underlying molecular mechanisms // Food Chemistry: X. - 2024. - Vol.21.- P.101191. DOI 10.1016/j.fochx.2024.10119.

10. ST RK 1760-2008. Moloko korov’ e. Tehnicheskie uslovija. – Astana: Komitet tehnicheskogo regulirovanija i metrologii MINT RK. - 2008.- 19s. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31684371.- Data obrashhenija: 16.05.2025. [in Russian]

11. Shori A.B. Influence of food matrix on the viability of probiotic bacteria: A review based on dairy and non-dairy beverages//Food Bioscience.-2016. -Vol.13.- P.1-8. DOI 10.1016/j.fbio.2015.11.001.

12. Burak L. Modern methods of food processing. Critical review// ResearchGate. - 2024. DOI 10.5281/zenodo.10632041.

13. Uskova D.G., Popova N.V., Botvinnikova V.V. Innovacionnye podhody v formirovanii potrebitel' skih svojstv vosstanovlennyh molochnyh produktov na primere jogurtov // Vestnik Juzhno-Ural' skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Pishhevye i biotehnologii. -2016. - № 2. - S.203-213. DOI 10.14529/food160203. [in Russian]

14. Liu S., Chen Y., Huang R., et al. Validation of an Optical Technology for the Determination of pH in Milk during Yogurt Manufacture//Foods -2024 -Vol.13(17): 2766. DOI 10.3390/foods13172766.

15. Marco M.L., Sanders M.E., Ganzle M., et al. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond // Current Opinion in Biotechnology. – 2017. – Vol.44. – P.94-102. DOI 10.1016/j.copbio.2016.11.010.

16. Savaiano D.A., Hutkins R.W. Yogurt, cultured fermented milk, and health: A systematic review // Nutrition Reviews. - 2021. - Vol.79(5). —P.599-614. DOI 10.1093/nutrit/nuaa013.

Сведения об авторах

Таева А.М.- доктор технических наук, профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: aigul_taeva@mail.ru;

Кулажанов Т.К.- доктор технических наук, академик НАН РК, профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: tkulazhanov_atu@mail.ru;

Диханбаева Ф.Т.- доктор технических наук, профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: fatima6363@mail.ru;

Мухтарханова Р.Б.-кандидат технических наук, ассоциированный профессор,Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: rauan_78@mail.ru ;

Имангалиева Ж.К.-PhD, ассистент профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, , e-mail: i.zhadra@mail.ru.

Information about the authors

Tayeva A.M.-Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aigul_taeva@mail.ru;

Kulazhanov T.K.- Doctor of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tkulazhanov_atu@mail.ru;

Dikhanbayeva F.T.- Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: fatima6363@mail.ru ;

Mukhtarkhanova R.B.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: rauan_78@mail.ru;

Imangaliyeva Zh.K.- PhD, Assistant Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: i.zhadra@mail.ru.

МРНТИ 65.51.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1198**

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАПИТКОВ

М.Ч. Тултабаев, М.К. Оспанова

Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан
Корреспондент-автор: shomanyli@mail.ru

Исследования показывают, что ультразвуковая обработка может эффективно снижать активность ферментов, таких как полифенолоксидаза (PPO), ответственных за энзиматическое потемнение и влиять на цветовые характеристики напитков, измеряемые по шкале CIELAB (ΔE). Однако влияние продолжительности обработки (t) и частоты ультразвука (f) на эти параметры часто нелинейно, что требует разработки математических моделей для оптимизации процесса. Анализ полученных результатов нелинейной поверхности отклика влияния ультразвука на цвет и ферменты, позволили сделать следующие предположения, что нелинейность поверхности отклика отражает ускорение окисления (ΔE) при увеличении t и f, а также насыщение инактивации PPO при высоких значениях. Установлено, что оптимум при $t = 5$, $f = 2$ минимизирует потемнение ($\Delta E \approx 3,71$) и обеспечивает высокую инактивацию PPO (78,5%), а также низкие t и f сохраняют бетацианины и полифенолы, минимизируя окисление.

Ключевые слова: витаминизированные напитки, ультразвуковая обработка, окисление, инактивация, математическая модель.

THE EFFECT OF THE DURATION OF ULTRASONIC TREATMENT ON THE QUALITY OF BEVERAGES

M.Ch. Tultabaev, M.K. Ospanova

K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
e-mail: shomanyli@mail.ru

Studies show that ultrasound treatment can effectively reduce the activity of enzymes such as polyphenol oxidase (PPO), responsible for enzymatic darkening, and affect the color characteristics of beverages measured on the CIELAB scale (ΔE). However, the effect of treatment duration (t) and ultrasound frequency (f) on these parameters is often nonlinear, which requires the development of mathematical models to optimize the process. Analysis of the obtained results of the nonlinear response surface of the effect of ultrasound on color and enzymes allowed us to make the following assumptions that the nonlinearity of the response surface reflects the acceleration of oxidation (ΔE) with increasing t and f, as well as saturation of PPO inactivation at high values. It was found that the optimum at $t = 5$, $f = 2$ minimizes darkening ($\Delta E \approx 3,71$) and provides high inactivation of PPO (78.5%), as well as low t and f preserve betacyanins and polyphenols, minimizing oxidation.

Keywords: fortified drinks, ultrasonic treatment, oxidation, inactivation, mathematical model.

УЛЬТРАДЫБЫСТЫҚ ӨҢДЕУ ҰЗАҚТЫҒЫНЫҢ СУСЫНДАРДЫҢ САПАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ӘСЕРІ

М.Ч. Тултабаев, M.K. Ospanova

Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: shomanyli@mail.ru

Зерттеулер көрсеткендей, ультрадыбыстық өңдеу ферменттердің белсенділігін тиімді түрде төмендетуі мүмкін, мысалы, ферменттік қызаруға жауап беретін полифенолоксидаза (PPO) және

CIELAB (ΔE) шкаласы бойынша өлшенетін сусындардың түс сипаттамаларына әсер етеді. Алайда, өңдеу ұзақтығы (t) мен ультрадыбыстық жиіліктің (f) бұл параметрлерге әсері көбінесе сызықты емес, бұл процесті оңтайландыру үшін математикалық модельдерді әзірлеуді қажет етеді. Ультрадыбыстың түс пен ферменттерге әсерінің сызықтық емес жауап бетінің нәтижелерін талдау жауап бетінің сызықтық емес болуы t және f жоғарылауындағы тотығу үдеуін (ΔE), сондай-ақ жоғары мәндердегі PPO инактивациясының қанықтылығын көрсетеді деген келесі болжамдарды жасады. $T = 5$, $f = 2$ кезінде оңтайлы қызаруды азайтады ($\Delta E \approx 3,71$) және жоғары PPO инактивациясын (78,5%), сондай-ақ төмен t және f тотығуды азайту үшін бетацианиндер мен полифенолдарды сақтайды.

Түйін сөздер: байытылған сусындар, ультрадыбыстық өңдеу, тотығу, инактивация, математикалық модель.

Введение. В последние годы ультразвуковая обработка (УЗО) приобрела значительную популярность в пищевой промышленности как нетермический метод консервации и улучшения качества напитков [1-5]. Этот подход использует акустические волны высокой частоты для генерации кавитации, которая приводит к механическому разрушению клеток, инактивации микроорганизмов и ферментов, а также стабилизации физико-химических свойств продуктов. В частности, УЗО применяется для витаминизированных напитков, таких как функциональные воды на основе экстрактов шиповника и свекольного сока, где важно сохранить биоактивные соединения, включая полифенолы, витамин С и бетацианины, при минимизации окислительных процессов [6-9]. Исследования показывают, что УЗО может эффективно снижать активность ферментов, таких как полифенолоксидаза (PPO), ответственных за энзиматическое потемнение, и влиять на цветовые характеристики напитков, измеряемые по шкале CIELAB (ΔE). Однако влияние продолжительности обработки (t) и частоты ультразвука (f) на эти параметры часто нелинейно, что требует разработки математических моделей для оптимизации процесса.

В контексте витаминизированной воды, состав которой включает 93,83% воды, 3% экстракта шиповника (с полифенолами 1,05–5,4 мг/100 г и витамином С 3–45 мг/100 г), 3% свекольного сока (бетацианины 1,5–6 мг/100 г, витамин С 0,09–0,24 мг/100 г), 0,15% ксантановой камеди, 0,02% премикса (витамин С 9 мг/100 г) и антиоксиданты (0,05% аскорбиновой кислоты и 0,03% лимонной кислоты), УЗО проводится при мощности ~200 Вт и pH 6. Ключевыми переменными являются t (5–15 минут) и f (2–4 кГц), которые влияют на изменение цвета (ΔE), вызванное окислением полифенолов и бетацианинов за счет накопления реактивных форм кислорода (ROS), и на снижение активности PPO ($PROloss$, % от исходной), с экспоненциальной инактивацией и насыщением при высоких значениях t и f. Исследования подтверждают, что УЗО приводит к нелинейному росту ΔE из-за взаимодействия времени и частоты, а $PROloss$ демонстрирует экспоненциальную зависимость, лучше отражающую физико-химические процессы [10, 12].

Для адекватного описания этих эффектов предлагается нелинейная математическая модель, включающая квадратичные и экспоненциальные члены. Модель позволит построить трехмерную поверхность отклика для комбинированной целевой функции Z, интегрирующей ΔE и $PROloss$ в пространстве (t, f, Z). Это обеспечит оптимизацию процесса, минимизируя деградацию цвета при максимальной инактивации ферментов. Предыдущие работы демонстрируют эффективность УЗО в инактивации PPO и POD в соках, с временным снижением фенолов, но подчеркивают необходимость учета нелинейностей для точного прогнозирования. Аналогично, мета-анализы подтверждают зависимость от интенсивности и длительности, где высокая амплитуда усиливает инактивацию.

В целом, разработка такой модели способствует повышению качества витаминизированных

напитков, сохраняя их функциональные свойства. Дальнейшие исследования, включая экспериментальную валидацию, позволят интегрировать УЗО в промышленные процессы.

Материалы и методы. Для исследования нами разработана рецептура напитка. В состав напитка (на 100 г, оптимальная рецептура) входят: 1) вода - 93,83%; 2) экстракт шиповника - 3% (полифенолы: 1,05–5,4 мг/100 г, витамин С: 3–45 мг/100 г); 3) свекольный сок - 3% (бетацианины: 1,5–6 мг/100 г, витамин С: 0,09–0,24 мг/100 г); 4) ксантановая камедь - 0,15%; 5) премикс - 0,02% (витамин С: 9 мг/100 г); 6) антиоксиданты: 0,05% аскорбиновой кислоты (50 мг/100 г), 0,03% лимонной кислоты (30 мг/100 г). Показатель кислотности (pH) напитка составляет 6 единиц.

Для ультразвуковой обработки напитков использовалась установка SONIC RPTOR 4000 производства США [13,14], имеющего следующие характеристики ультразвукового оборудования: 1) частота (f): 2–4 кГц; 2) мощность: ~200 Вт; 3) продолжительность воздействия (t): 5–15 минут.

Для построения нелинейной математической модели и трехмерной поверхности отклика, описывающей влияние продолжительности ультразвуковой обработки (t, 5–15 минут) и частоты ультразвука (f, 2–4 кГц) на цвет витаминизированной воды (изменение цвета ΔE) и разложение ферментов (снижение активности полифенолоксидазы, $PROloss$) использованы квадратичные и экспоненциальные зависимости, которые лучше отражают физико-химические процессы окисления пигментов и инактивации ферментов. Поверхность отклика будет построена для комбинированной целевой функции Z, учитывающей ΔE и $PROloss$, в трехмерном пространстве (t, f, Z).

Для построения математической модели предположено, что выполнены следующие аксиомы.

Аксиома 1. Изменение цвета в CIELAB, вызвано окислением полифенолов и бетацианинов. $PROloss$: Снижение активности полифенолоксидазы (% от исходной), фермент присутствует в шиповнике и свекольном соке.

Аксиома 2. Изменение цвета в CIELAB из-за накопления реактивных форм кислорода (ROS) и взаимодействия времени и частоты носит нелинейный рост.

Аксиома 3. Модель предполагает однородность напитка.

На переменные t и f накладываются следующие ограничения: $5 \leq t \leq 15$ минуты,

$2 \leq f \leq 4$, кГц. Целевые функции: ΔE, $PROloss$.

В качестве критерия оптимизации выбирается комбинированная нелинейная функция:

$$Z = \frac{w_1 * \Delta E}{\Delta E_{\text{max}}} - \frac{w_2 * PROloss}{PROloss_{\text{max}}} \qquad (1)$$

где: $w_1 = 0,6$, $w_2 = 0,4$ (приоритет минимизации потемнения). $\Delta E_{\text{max}} = 15$ (максимальное изменение цвета при $t = 5$, $f = 4$). $PROloss_{\text{max}} = 100\%$.

Задача оптимизации. Необходимо минимизировать критерий (1) по переменной ΔE и максимизировать по переменной $PROloss$.

Для определения зависимости параметра ΔE от времени t и частоты f строится следующее выражение:

$$\Delta E = a_1 * t + a_2 * f + a_3 * t * f + a_4 * t^2 + a_5 * f^2 \qquad (2)$$

где: a_1 - линейный вклад времени (ΔE/мин); a_2 - линейный вклад частоты (ΔE /кГц); a_3 – вклад взаимодействия времени и частоты; a_4 - квадратичный вклад времени (усиление окисления); a_5 - квадратичный вклад частоты (усиление кавитации).

В результате проведенных экспериментов выбраны следующие значения параметров:

$$a_1 = 0,4; a_2 = 0,8; a_3 = 0,08; a_4 = 0,02; a_5 = 0,1.$$

В предположении, что антиоксиданты снижают ΔE на ~30% из (2) получим, что

$$\Delta E = 0,7 * (0,4 * t + 0,8 * f + 0,08 * t * f + 0,02 * t^2 + 0,1 * f^2) \quad (3)$$

Для определения зависимости параметра $PROloss$ от времени t и частоты f строится следующее выражение:

$$PROloss = b_1 * (1 - e^{-k_1}t - k_2 * f^2) * 100 \quad (4)$$

где: b_1 - максимальная инактивация (~95%); k_1 - константа для времени учитывает нелинейный эффект кавитации (1/мин); k_2- константа для частоты учитывает усиление инактивации при росте частоты (1/кГц²).

В результате проведенных экспериментов выбраны следующие значения параметров:

$$b_1 = 0,95; k_1 = 0,154; k_2 = 0,25$$

.

С учетом вышеизложенного для целевой функции получим следующую зависимость:

$$Z = 0,6 * \frac{\Delta E}{15} - 0,4 * PROloss/100 \quad (5)$$

где $\Delta E = 0,7 * (0,4 * t + 0,8 * f + 0,08 * t * f + 0,02 * t^2 + 0,1 * f^2)$,

$PROloss = 0,95 * (1 - e^{-0,15} * t - 0,25 * f^2)$.

С учетом следующих ограничений $5 \leq t \leq 15$, $2 \leq f \leq 4$; $\Delta E \leq 10$ (желательно); $PROloss \geq 50\%$ (минимальная инактивация), проведем вычисления значений ΔE, $PROloss$ и Z в граничных точках.

Показатели ΔE, $PROloss$ и Z в точке (t=5, f=2) равны:

$\Delta E = 0,7 \cdot (0,4 \cdot 5 + 0,8 \cdot 2 + 0,08 \cdot 5 \cdot 2 + 0,02 \cdot 52 + 0,1 \cdot 22) = 3,71$

$PPOloss = 95 \cdot (1 - e - 0,15 \cdot 5 - 0,25 \cdot 22)95 \cdot 0,826 \approx 78,5\%$

$Z = 0,6 \cdot 3,7115 - 0,4 \cdot 78,5100 = 0,1484 - 0,314 = -0,1656.$

Показатели ΔE, $PROloss$ и Z в точке (t=5, f=4) равны:

$\Delta E = 0,7 \cdot (0,4 \cdot 5 + 0,8 \cdot 4 + 0,08 \cdot 5 \cdot 4 + 0,02 \cdot 52 + 0,1 \cdot 42) == 6,23$

$PPOloss = 95 \cdot (1 - e - 0,15 \cdot 5 - 0,25 \cdot 42) \approx 94,1\%$

$Z = 0,6 \cdot 6,2315 - 0,4 \cdot 94,1100 = 0,2492 - 0,3764 = -0,1272$

Показатели ΔE, $PROloss$ и Z в точке (t=15, f=2) равны:

$\Delta E = 0,7 \cdot (0,4 \cdot 15 + 0,8 \cdot 2 + 0,08 \cdot 15 \cdot 2 + 0,02 \cdot 152 + 0,1 \cdot 22) = 10,43$

$PPOloss = 95 \cdot (1 - e - 0,15 \cdot 15 - 0,25 \cdot 22 \approx 91,3\%$

$Z = 0,6 \cdot 10,4315 - O,4 \cdot 91,31 = 0,052$

Показатели ΔE, $PROloss$ и Z в точке (t=15, f=4) равны:

$\Delta E = 0,7 \cdot (0,4 \cdot 15 + 0,8 \cdot 4 + 0,08 \cdot 15 \cdot 4 + 0,02 \cdot 152 + 0,1 \cdot 42) = 14,07$

$PPOloss = 95 \cdot (1 - e - 0,15 \cdot 15 - 0,25 \cdot 42 \approx 94,8\%$

$Z = 0,6 \cdot 14,0715 - 0,4 \cdot 94,81 = 0,1836$

Полученные результаты показывают, что оптимальной точкой является: $t = 5$, $f = 2$, $Z = -0,1656$, которая минимизирует ΔE (3,71) и обеспечивает высокую инактивацию PPO (78,5%).

Построим трехмерную поверхность отклика для нелинейной функции $Z = f(t, f)$, которая показывает зависимость от времени и частоты, а также оптимальную точку и границы ограничений. На рисунке 1 показана нелинейная поверхность отклика влияния ультразвука на цвет и ферменты.

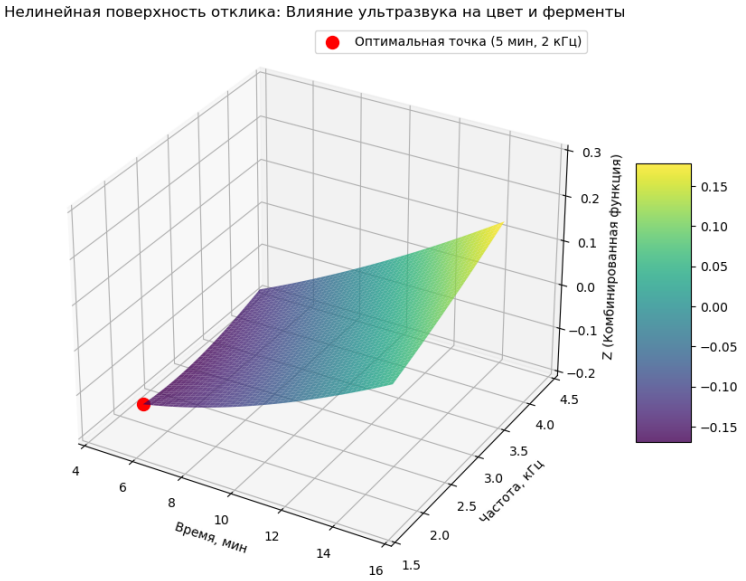


Рис.1 - Нелинейная поверхность отклика влияния ультразвука на цвет и ферменты
*(*x - продолжительность обработки (t, 5–15 минут); y - частота ультразвука (f, 2–4 кГц); z - комбинированная целевая функция Z (учитывает ΔE и $PROloss$))

Нелинейность поверхности обусловлена квадратичными членами в ΔE (t^2, f^2) и экспоненциальной зависимостью в $PROlos$.

Минимальные значения Z (около - 0,17) соответствуют низким t и f, максимальные (около 0,18) - высоким t и f; Поверхность изогнута из-за взаимодействия $t * f$ с t и нелинейных эффектов. Границы области образуют прямоугольник: $5 \leq t \leq 15$, $2 \leq f \leq 4$. Оптимальная точка (5,2,Z=−0,1656) на графике отмечена красным цветом, что соответствует $\Delta E = 3,71$, $PROloss = 78,5\%$.

Результаты и обсуждение. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Нелинейность отражает ускорение окисления ΔE при увеличении t и f, а также насыщение инактивации PPO при высоких значениях. Оптимум при $t = 5$, $f = 2$ минимизирует потемнение (ΔE≈3,71) и обеспечивает высокую инактивацию PPO (78,5%).

Низкие t и f сохраняют бетацианины и полифенолы, минимизируя окисление.

PPO эффективно инактивируется даже при минимальных параметрах, но дальнейший рост t и f увеличивает ΔE, что нежелательно.

Антиоксиданты (0,05% аскорбиновой кислоты и 0,03% лимонной кислоты) снижают ΔE на 30%.

Квадратичные члены (t^2 , f^2) в ΔE отражают усиление окисления при длительной обработке и высокой частоте. Экспоненциальная модель $PROloss$ с f^2 учитывает нелинейный эффект кавитации.

В результате рекомендуется использвать t=5, $f = 2$ для оптимального баланса. Применяйте деаэрацию и охлаждение (<30°C) для дальнейшего снижения ΔE.

Выводы. Комплексный анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы. Ультразвук с частотой 4 кГц вызывает менее интенсивную кавитацию по сравнению с 20–40 кГц, но 10-минутная обработка при мощности ~200 Вт создает значительное количество ROS, локальный нагрев (до 50–80°C в зонах кавитации) и механическое воздействие.

Ультразвук разрушает витамин С, превращая его в дегидроаскорбиновую кислоту или продукты распада (например, оксалаты). Потери составляют 20–50% за 10 минут при 4 кГц, особенно в присутствии кислорода. Разложение витамина С может усиливать окисление других компонентов, образуя перекись водорода H_2O_2.

Минералы устойчивы к ультразвуку, но ионы железа (0,045–0,186 мг/100 г) могут катализировать окисление полифенолов и бетацианинов, усиливая потемнение. Сохранение минералов, но каталитическая активность железа способствует цветовым изменениям.

Улучшение гомогенности за счет дисперсии ксантановой камеди, но снижение вязкости из-за гидролиза пектинов.

Рекомендации для минимизации потемнения и потерь.

1. Снижение до 3-5 минут при 4 кГц и 200 Вт., будет способствовать сохранению 80–90% витамина С и бетацианинов (сокращение времени обработки).

2. Удаление кислорода (вакуумирование или продувка азотом) для снижения окисления полифенолов и витамина С (leаэрация).

3. Увеличение доли аскорбиновой кислоты (0,05% = 50 мг/100 г) способствует нейтрализации ROS.

4. Контроль температуры во время обработки для предотвращения нагрева (охлаждение до 20–30°C).

Выработанные рекомендации, на основе созданных математических моделей и результатов нелинейной поверхности отклика, позволят значительно улучшить качества витаминизированных напитков. Однако, требуются дальнейшие исследования для оптимизации других процессов технологии получения напитков.

Финансирование. *Данное исследование было проведено в рамках грантового проекта № AP23488817 ”Разработка технологии производства витаминизированных напитков, обогащенных кислородом, с использованием схемы симплексной решетки Шеффе”, финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2024-2026 годы.*

Благодарность. Благодарим руководство университета за техническую поддержку в ходе реализации проекта и подготовку материалов для этой статьи.

Литература

1. Birmpa A, Sfika V, Vantarakis A. Ultraviolet light and Ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods//Int J Food Microbiol.- 2013.- Vol.167(1). - P.96 - 102. DOI10.1016/J.IJFOODMICRO.2013.06.005.

2. Mukhtar Tultabayev, Tamara Tultabayeva, Dametken Zhumanova, Rabiga Kasymbek, Aruzhan Shaman. Denaturation of proteins under the influence of ultrasound. Hypothesis. BIO Web of Conferences 64, 01007 (2023). Agro-Bio-Technologies. DOI ORG/10.1051/BIOCONF/20236401007

3. Chemat F, Zill-E-Huma, Khan MK. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. Ultrason Sonochem. (2011) 18:813–35. DOI 10.1016/J.ULTSONCH.2010.11.023.

4. Delmas H, Barthe L.25-Ultrasonic mixing, homogenization, and emulsification in food processing and other applications//Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound. Elsevier Ltd. -2015. -

P.757-791.

5. Rifna EJ, Singh SK, Chakraborty S, Dwivedi M. Effect of thermal and non-thermal techniques for microbial safety in food powder: recent advances. Food Res Int. (2019) 126:108654. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2019.108654. DOI 10.1016/B978-1-78242-028-6.00025-9.

6. Lei Zhou, Jian Zhang, +1 author Wangang Zhang. Applications and effects of ultrasound assisted emulsification in the production of food emulsions: A review// Trends in Food Science and Technology.-2021. -Vol110.- P.493-512. DOI 10.1016/J.TIFS.2021.02.008.

7. Cesar Ozuna, Ingrid Paniagua-Martinez,Eduardo Castano-Tostado. Innovative applications of high-intensity ultrasound in the development of functional food ingredients: Production of protein hydrolysates and bioactive peptides/Food Research International.-2015.-Vol.77.-P.685-696. DOI 10.1016/j.foodres.2015.10.015.

8. Arzeni C., Martinez K., Zema P., Arias A., Perez O.E., Pilosof A.M.R. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality// Chemistry, Journal of Food Engineering.-2012.- Vol.108(3).- P.463-472. DOI 10.1016/J.JFOODENG.2011.08.018.

9. Bhargava N., Mor R.S., Kumar K., Sharanagat V.S. Advances in application of ultrasound in food processing: A review//Ultrason Sonochem.-2021.-Vol.70:105293. DOI 10.1016/J.ULTSONCH.2020.105293.

10. Mason T.J, Chemat F., Ashokkumar M. Power ultrasonics for food processing//Power Ultrasonics. Applications of High-Intensity Ultrasound.- Elsevier Ltd.- 2015.-P.815-843. DOI 10.1016/B978-1-78242-028-6.00027-2.

11. Wu Li, Gamlath J. Gamlath ,Rachana Pathak, Gregory J.O Martin, Muthupandian Ashokkumar. Ultrasound - the physical and chemical effects integral to food processing // Innovative Food Processing Technologies.-2021.-P.329-358. DOI 10.1016/B9780-08-1005965.22679-6.

12. Barekat S., Soltanizadeh N. Improvement of meat tenderness by simultaneous application of high-intensity ultrasonic radiation and papain treatment// Innov. Food. Sci.& Emerg. Technol.- 2017.- Vol.39.-P.223-229. DOI 10.1016/j.ifset.2016.12.009.

13. Тултабаев М.Ч., Сафуани Ж.Е., Тултабаева Т.Ч., Жунусова Г.С., Касымбек Р. и др. Ультразвуковое эмульгирование сафлорового масла// Пищевая промышленность.-2022- №12.- С.30-33. DOI 10.52653/PPI.2022.12.12.006.

14. Gan Z, Feng X, Hou Y, Sun A, Wang R. Cold plasma jet with dielectric barrier configuration: investigating its effect on the cell membrane of E. coli and S. cerevisiae and its impact on the quality of chokeberry juice//Lwt -2021.-Vol.136.:110223. DOI 10.1016/j.lwt.2020.110223

References

1. Birmpa A, Sfika V, Vantarakis A. Ultraviolet light and Ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods//Int J Food Microbiol.- 2013.- Vol.167(1). -P.96 - 102. DOI10.1016/J.IJFOODMICRO.2013.06.005.

2. Mukhtar Tultabayev, Tamara Tultabayeva, Dametken Zhumanova, Rabiga Kasymbek, Aruzhan Shaman. Denaturation of proteins under the influence of ultrasound. Hypothesis. BIO Web of Conferences 64, 01007 (2023). Agro-Bio-Technologies. DOI ORG/10.1051/BIOCONF/20236401007

3. Chemat F, Zill-E-Huma, Khan MK. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. Ultrason Sonochem. (2011) 18:813–35. DOI 10.1016/J.ULTSONCH.2010.11.023.

4. Delmas H, Barthe L.25-Ultrasonic mixing, homogenization, and emulsification in food processing and other applications//Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound. Elsevier Ltd. -2015. -P.757-791.

5. Rifna EJ, Singh SK, Chakraborty S, Dwivedi M. Effect of thermal and non-thermal techniques for microbial safety in food powder: recent advances. Food Res Int. (2019) 126:108654. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2019.108654. DOI 10.1016/B978-1-78242-028-6.00025-9.

6. Lei Zhou, Jian Zhang, +1 author Wangang Zhang. Applications and effects of ultrasound assisted emulsification in the production of food emulsions: A review// Trends in Food Science and Technology.-2021. -Vol110.- P.493-512. DOI 10.1016/J.TIFS.2021.02.008.

7. Cesar Ozuna, Ingrid Paniagua-Martinez,Eduardo Castano-Tostado. Innovative applications of high-intensity ultrasound in the development of functional food ingredients: Production of protein hydrolysates and bioactive peptides/Food Research International.-2015.-Vol.77.-P.685-696. DOI 10.1016/j.foodres.2015.10.015.

8. Arzeni C., Martinez K., Zema P., Arias A., Perez O.E., Pilosof A.M.R. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality// Chemistry, Journal of Food Engineering.-2012.- Vol.108(3).- P.463-472. DOI 10.1016/J.JFOODENG.2011.08.018.

9. Bhargava N., Mor R.S., Kumar K., Sharanagat V.S. Advances in application of ultrasound in food processing: A review//Ultrason Sonochem.-2021.-Vol.70:105293. DOI 10.1016/J.ULTSONCH.2020.105293.

10. Mason T.J, Chemat F., Ashokkumar M. Power ultrasonics for food processing//Power Ultrasonics. Applications of High-Intensity Ultrasound.- Elsevier Ltd.- 2015.-P.815-843. DOI 10.1016/B978-1-78242-028-6.00027-2.

11. Wu Li, Gamlath J. Gamlath ,Rachana Pathak, Gregory J.O Martin, Muthupandian Ashokkumar. Ultrasound - the physical and chemical effects integral to food processing // Innovative Food Processing Technologies.-2021.-P.329-358. DOI 10.1016/B9780-08-1005965.22679-6.

12. Barekat S., Soltanizadeh N. Improvement of meat tenderness by simultaneous application of high-intensity ultrasonic radiation and papain treatment// Innov. Food. Sci.& Emerg. Technol.- 2017.- Vol.39.-P.223-229. DOI 10.1016/j.ifset.2016.12.009.

13. Tultabaev M.Ch., Safuani Zh.E., Tultabaeva T.Ch., Zhunusova G.S., Kasymbek R. i dr. Ul' trazvukovoe jemul' girovanie saflorovogo masla// Pishhevaja promyshlennost'.- 2022 - №12.- S.30-33. DOI 10.52653/PPI.2022.12.12.006.[in Russian]

14. Gan Z, Feng X, Hou Y, Sun A, Wang R. Cold plasma jet with dielectric barrier configuration: investigating its effect on the cell membrane of E. coli and S. cerevisiae and its impact on the quality of chokeberry juice//Lwt -2021.-Vol.136.:110223. DOI 10.1016/j.lwt.2020.110223

Сведения об авторах

Тултабаев М.Ч.- д.т.н., профессор, исследователь кафедры, КазУТБ им.К.Кулажанова,Астана, Казахстан, e-mail: shomanyli@mail.ru;

Оспанова М.К.- к.ф.-м.н., начальник отдела, КазУТБ им.К.Кулажанова, e-mail: ospanova_madi_59@mail.ru.

Information about the author

Tultabaev M.Ch.- Doctor of Technical Sciences, Professor, Researcher, KazUTB named after K. Kulazhanov Astana, Kazakhstan, e-mail: shomanyli@mail.ru;

Ospanova M.K. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of Department, KazUTB named after K. Kulazhanov, e-mail: ospanova_madi_59@mail.ru.

ҒТАМР 65.09.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1164**

БАҚША ЖӘНЕ КӨКӨНІС ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ҚҰРАМЫНАН ЛИКОПИНДІ БӨЛІП АЛУДЫҢ ТИІМДІ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ РЕЖИМДЕРІН ЗЕРТТЕУ

Г.Е. Жумалиева✉, У.Ч. Чоманов, А.Б. Байзақова✉, Ә.К. Шоман
«Қазақ қайта өңдеу және тағам өнеркәсіптері ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Алматы қ., Казақстан
✉Корреспондент-автор: guljan_7171@mail.ru; ainel0026@gmail.com

Қызанақ және қарбыз сияқты бақша дақылдары мен көкөністерден алынатын ұнтақтар ликопиннің жоғары концентрациясымен және арзандығымен ерекшеленетін ликопин алудың тиімді шикізаты болып саналады. Дегенмен, органикалық еріткіштерді пайдаланып экстракциялау әрқашан қосылыстың максималды шығымына әкелмейді. Осыған байланысты бұл ұнтақтардан ликопинді алудың оңтайлы технологиялық режимдерін анықтау экстракция тиімділігін арттырады және процесті жеңілдетеді. Зерттеу барысында қызанақ пен қарбыздың ұнтақ үлгілері пайдаланылды. Экстракция процесі органикалық еріткіш гександы және шикізатты қолдану арқылы жүргізілді: еріткіш пен шикізат қатынасы 1:5. Оңтайлы процесс параметрлері орнатылды: температура 40 °С және ұзақтығы 45 минут. Мұндай жағдайларда ликопин концентрациясы қызанақ ұнтағы үлгілерінде 1580,4 мг-ға, қарбыз ұнтағында 1274,8 мг-ға жетті. Алынған нәтижелер алынған өнімді тамақ өндірісінде функционалдық компонент ретінде пайдалану мүмкіндігін растайды.

Түйін сөздер: ликопин, қарбыз, қызанақ, ұнтақ, экстракция

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИКОПИНА ИЗ БАХЧЕВЫХ И ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

Г.Е. Жумалиева✉, У.Ч. Чоманов, А.Б. Байзакова✉, А.К. Шоман
ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» г. Алматы, Казахстан,
e-mail: guljan_7171@mail.ru; ainel0026@gmail.com

Порошки, полученные из бахчевых и овощных культур, таких как томат и арбуз, рассматриваются в качестве эффективного сырья для получения ликопина, который характеризуется высокой концентрацией ликопина и низкой стоимостью. Однако экстракция с использованием органических растворителей не всегда приводит к достижению максимального выхода соединения. В связи с этим актуальной задачей является разработка оптимальных технологических режимов извлечения ликопина из этих порошков, что позволит повысить эффективность экстракции и масштабировать процесс. В исследовании использовались порошкообразные образцы томатов и арбузов. Процесс экстракции проводили с использованием гексана со смесью растворителей и соотношением сырье : растворитель 1:5. Были установлены оптимальные параметры процесса: температура 40 °С и продолжительность 45 минут. При данных условиях концентрация ликопина достигла 1580,4 мг в образцах томатного порошка и 1274,8 мг в порошке арбуза. Полученные результаты подтверждают перспективность использования экстракта в качестве функционального компонента в производстве продуктов питания.

Ключевые слова: ликопин, арбуз, томат, порошок, экстракция.

STUDY OF EFFECTIVE TECHNOLOGICAL MODES OF LYCOPENE EXTRACTION FROM MELONS AND VEGETABLE CROPS

G.E. Zhumalieva✉, U.Ch. Chomanov, A.B. Baizakova✉, A.K. Shoman
[1]«Kazakh research institute of processing and food industry» LTD, Almaty, Kazakhstan,
e-mail:guljan_7171@mail.ru; ainel0026@gmail.com

Powders obtained from melons and vegetables, such as tomato and watermelon, are considered as effective raw materials for obtaining lycopene, which is characterized by a high concentration of lycopene

and low cost. However, extraction using organic solvents does not always lead to achieving the maximum yield of the compound. In this regard, an urgent task is to develop optimal technological modes for extracting lycopene from these powders, which will increase the extraction efficiency and scale up the process. Powdered samples of tomatoes and watermelons were used in the study. The extraction process was carried out using hexane with a solvent mixture and a raw material : solvent ratio of 1:5. The optimal process parameters were set: temperature 40 °C and duration 45 minutes. Under these conditions, the concentration of lycopene reached 1580.4 mg in tomato powder samples and 1274.8 mg in watermelon powder. The obtained results confirm the prospects of using the extract as a functional component in food production.

Key words: lycopene, watermelon, tomato, powder, extracion.

Кіріспе. Соңғы жылдары табиғи каротиноид ликопин, күшті антиоксидант ретінде және денсаулыққа тигізетін пайдасы арқасында көбірек назар аударды. Ликопин - майда еритін каротиноид, ол тағамға сарыдан қызылға дейінгі түс береді. Ол қызанақ, қарбыз целлюлозасында (3,55–4,86 мг/100 г), қызыл грейпфрут, теңіз шырғанағы және итмұрында кездеседі. Ликопин Е-160 тағамдық қоспасы ретінде тіркелген және Ресейде, Беларусьте, АҚШ-та, Австралияда, Жаңа Зеландияда және Еуропалық Одақта пайдалануға рұқсат етілген. Эпидемиологиялық зерттеулер тәулігіне 5-20 мг ликопинді тұтынуды ұсынады, өйткені тағамнан ликопинге күнделікті арнайы қажеттілік жоқ [1]. Ликопиннің адам ағзасындағы негізгі қызметі антиоксидант болып табылады. Тотығу стрессін азайту атеросклероздың дамуын бәсеңдетеді, сонымен қатар онкогенезді болдырмайтын ДНҚ қорғанысын қамтамасыз етеді. ликопинді, сондай-ақ құрамында ликопин бар өнімдерді тұтыну адам ағзасындағы тотығу стресс маркерлерінің деңгейінің сенімді төмендеуіне әкеледі. ликопин адам қанындағы ең күшті каротиноид – антиоксидант болып табылады [2].

Ғалымдар өздерінің зерттеулерінің арқасында жастықты сақтаудың, иммунитетті арттырудың, жүрек-қан тамырлары ауруларының қаупін азайтудың, жасушааралық метаболизмді қалыпты ұстаудың және қатерлі ісік ауруының даму қаупінің сырын ашатындарына үмітін үзбейді.

Аптасына екі рет қызанақ жеу, бұл әсерді толығымен бейтараптай алмаса да, ісік қаупін 34 пайызға азайтады [1]. Ұзақ уақыт бойы каротиноидтардың биологиялық қасиеттерін зерттеуде провитаминдік теория басым болды, оған сәйкес олардың адам ағзасындағы негізгі рөлі А дәруменінің биоконверсиясы болып табылады. Соңғы жылдары осы заттардың провитаминдік белсенділігімен байланысты емес антиоксиданттық, адаптогендік, антикарциногендік, радиопротекторлық, антимутагендік және иммуномодуляциялық қасиеттерін көрсететін тәжірибелік деректер алынды. Бета-каротиннің адам ағзасындағы тәуелсіз рөлі анықталды, бірақ ликопиннің (ретинолға айналмайтын каротиноид) биологиялық белсенділігі туралы ақпарат іс жүзінде жоқ.

Ликопин - өсімдіктер мен кейбір микроорганизмдер синтездейтін табиғи каротиноидты пигмент. Бұл тағамдық ингредиент денеде синтезделмейді, бірақ тағамнан келеді. ликопиннің 80%-дан астамы өңделген қызанақ өнімдері мен қызанақ шырынынан алынады. ликопин қабыну реакциясын басуда маңызды рөл атқарады және оның осы бағыттағы белсенділігі ең алдымен реактивті оттегі түрлері сияқты негізгі медиаторлардың басылуымен байланысты.

Ликопиннің биологиялық белсенділігі оның антикарциногендік, иммуномодуляциялық, кардиопротекторлық, антиатерогендік, радио- және фотопротекторлық әсерлеріне байланысты. ликопиннің созылмалы жүрек-қан тамырлары ауруларының алдын алудағы маңызды рөлі, әсіресе темекі шегетін адамдарда жоғары тотығу стрессі жағдайында дәлелденді[3]. Азықтүліктің басым көздері қызыл қызанақ және құрамында қызанақ бар өнімдер, ликопиннің жоғары мөлшерімен сипатталады (қызанақ пастасы – 28,8 мг/100 г, қызанақ пюресі – 21,8

мг/100 г, қызанақ соустары – 12,1-18,9 мг/100 г, қызанақ шырыны – 0 г/0). Құрамында 2,7 мг/100 г ликопин бар жаңа піскен қызанақтармен салыстырғанда, туралған консервіленген қызанақтарда – 5,1 мг/100 г және әртүрлі тәсілдермен пісірілген қызанақтарда (қуыру, бұқтыру, пісіру) – 3 мг/100 г жоғары мәндер бар. Қызанақтан басқа ликопиннің басқа көздері бар: гуава (5,2 мг/100 г), қарбыз (4,5 мг/100 г), папайя (1,8 мг/100 г), қызғылт және қызыл грейпфрут (1,4 мг/100 г) [4].

Қызанақ пен қарбыз ұнтақтары мен қоспалары ликопин, цитрулин, витаминдер мен минералдар сияқты биоактивті компоненттердің арқасында адам денсаулығын сақтауда тиімді. Бұл ұнтақтар мен қоспалар антиоксиданттық, қабынуға қарсы және кардиопротекторлық қасиеттерге ие, бұл оларды әртүрлі аурулардың, соның ішінде жүрек-қан тамырлары ауруларының, қатерлі ісіктердің алдын алуда, сондай-ақ қалыпты ылғалдану деңгейін ұстап тұруда және жалпы денсаулықты жақсартуда пайдалы етеді. Қызанақ пен қарбызда кездесетін ликопин созылмалы аурулардың алдын алу аясында кеңінен зерттелген ең күшті антиоксиданттардың бірі болып табылады.

Қызанақ ұнтағы - қызанақтың шоғырланған түрі, ол барлық қажетті қоректік заттарды, соның ішінде ликопинді, В дәрумендерін, С витаминін және калий сияқты минералдарды сақтайды. Қызанақ ұнтағы денсаулыққа арналған қосымша ретінде кеңінен қолданылады, себебі оның құрамында күшті антиоксиданттық қасиеттері бар каротиноид болып табылатын ликопиннің жоғары концентрациясы бар. ликопин ағзаға енген кезде жасушаларды зақымдайтын және қабыну мен аурудың дамуына ықпал ететін бос радикалдарды бейтараптандырады [5]. Зерттеулер көрсеткендей, ликопин жүрек-қан тамырлары ауруларының даму қаупін азайтады, сонымен қатар қатерлі ісік ауруларының, атап айтқанда простата, сүт безі және асқазан қатерлі ісігінің алдын алуда рөл атқарады [6]. Қызанақ ұнтағын үнемі тұтыну тотығу стрессінің деңгейін төмендетеді және қан тамырларына қорғаныс әсерін тигізеді, атеросклероздың және басқа тамыр ауруларының дамуын болдырмайды [7].

Қарбыз ұнтағы, қызанақ ұнтағы сияқты, барлық пайдалы заттарды, соның ішінде ликопинді, С және А дәрумендерін және амин қышқылы цитрулинді сақтайтын тиісті жемістің шоғырланған түрі. Цитрулин - қан айналымын жақсартуға, қан тамырларын кеңейтуге және қан қысымын төмендетуге көмектесетін негізгі компонент. Бұл қарбыз ұнтағын гипертония және басқа да жүрек-қан тамырлары ауруларымен ауыратын адамдар үшін пайдалы етеді [8]. Қарбыз ұнтағы су-тұз балансын қалыпқа келтіруге, ылғалдандыруды жақсартуға көмектеседі және қарқынды физикалық белсенділікпен айналысатын адамдар үшін пайдалы болуы мүмкін. Қызанақ ұнтағынан айырмашылығы, қарбыз ұнтағы ликопинді азырақ қамтиды, бірақ әлі де осы антиоксиданттың құнды көзі болып табылады, бұл оның ағзадағы қабынуды және тотығу стрессін азайту қабілетін растайды [9, 10].

Қызанақ шикізатынан ликопин алудың қолданыстағы әдістерін талдау және осы мақсаттарда қарбыз ұнтағын пайдалану мүмкіндігіне арналған басылымдар қарбыз шикізатына бейімделуі мүмкін негізгі технологиялық кезеңдерді анықтауға мүмкіндік береді. Негізгі кезеңдерге шикізатты алдын ала дайындау, еріткіш таңдау және экстракция жатады.

Бұл зерттеудің мақсаты қызанақ пен қарбыз ұнтақтарынан ликопинді алудың тиімді технологиялық режимдерін жасау болып табылады. Зерттеу объектілері 13%-дан аспайтын қалдық ылғалдылыққа дейін инфрақызыл кептіру арқылы кептірілген қызанақ пен қарбыз ұнтақтары болды.

Материалдар мен әдістер. *Шикізатты алдын ала дайындау.*

Шикізатты алдын ала дайындау келесі әдіспен жүргізілді. Қызанақтар мен қарбыздарды сұрыптап, жуып, жеуге жарамсыз бөліктерін алып, кесіп тасталды: қызанақ -сегіз бірдей тілімдерге, қарбыз - салмағы 0,01-0,03 кг тілімдерге. Үлгілер бір қабатта жайпақ ыдысқа салынып, инфрақызыл кептіргіш шкафта кептірілді. Ылғалдылық көрсеткіші 10-13% жеткенше, үш

температура режимі зерттелді: 45°С, 50°С және 60°С қалдық . Осыдан кейін кептірілген үлгілер ұнтақ күйіне дейін ұнтақталды.

Экстракция әдісі

Ликопин алдын ала дайындалған ұнтақтардан аналитикалық сортты химиялық гександы пайдалана отырып жүргізілді. Шикізат және гексанның көлемдік арақатынасын анықтауда үш қатынас зерттелді: 1 : 3, 1 : 5 және 1 : 7. Ликопин гексанмен 20-тан 40°С-дейінгі температурада және 15-60 минут аралығында экстракцияланды. Ультрадыбыстық өңдеу Bandelin Sonopuls HD 3200 гомогенизаторымен жүргізілді. Экстракцияны аяқтағаннан кейін фазалар вакуумды сүзу арқылы бөлінді, содан кейін еріткіш RV 3 эко роторлы буландырғыш (ИКА, Германия) арқылы сығындыдан шығарылды.

Сондай-ақ келесі әдістер қолданылды: МЕМСТ 5898 – 87 қышқылдық пен сілтілілікті анықтау; МЕМСТ Р 51478-99 (ИСО 2917-74) сутегі ионының pH концентрациясын анықтау; МЕМСТ Р ISO 22935-2-2011 органолептикалық бағалаудың ұсынылатын әдістері.

Статистикалық талдау

Статистикалық талдау MS Excel және Statistica 14.0 көмегімен орындалды. Әрбір эксперимент үш рет тәуелсіз орындалды. Барлық деректер орташа мәндер ретінде берілген.

Нәтижелер мен талқылау. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде алынған ұнтақтар мен сығындылардың физика-химиялық және органолептикалық көрсеткіштеріне инфрақызыл кептірудің температуралық-уақыттық режимдерінің әсерін көрсететін тәжірибелік деректер алынды. Ұнтақтардың ылғалдылығын өзгерту нәтижелері 1-кестеде келтірілген.



а ***б*** ***в***

г ***д*** ***е***



ж

3-сурет. Инфрақызыл кептіру арқылы алынған қарбыз және қызанақ ұнтақтарының сыртқы түрі:
A) 40°C, B) 50°C, C) 60°C ;температурада алынған қызанақ ұнтақтары
D) 40°C, E) 50°C, F) 60°C;температурада алынған қарбыз ұнтақтары

1-кесте. Инфрақызыл кептіру режимдері және ұнтақ ылғалдылығының өзгеруі

Көрсеткіштер	**Қызанақ ұнтағы**			**Қарбыз ұнтағы**		
Қыздыру температурасы , °C	40	50	60	40	50	60
Оңтайлы ылғалдылыққа жету уақыты, сағат	23	21	20	39	37	34
Ылғалдылық, %	12.4	13.6	13.1	13.9	13.6	13.4

3-кестеде келтірілген тәжірибелік мәліметтер негізінде қалдық ылғалдылығы 10–13% қызанақ пен қарбыз ұнтақтарын алу үшін инфрақызыл кептірудің оңтайлы температуралық шарттары анықталды. Әртүрлі температуралық жағдайларда кептіру уақытын талдау, сонымен қатар органолептикалық көрсеткіштерін және дайын өнімнің сыртқы түрін зерттеу процестің рационалды технологиялық параметрлерін орнатуға мүмкіндік берді. Қызанақ ұнтағы үшін қыздыру температурасының жоғарылауымен кептіру уақытының табиғи қысқаруы байқалды: 40°C-та кептіру уақыты 23 сағат, 50°C-та - 21 сағат, ал 60°C-та - 20 сағат болды. Бұл ретте температураның 60°C дейін көтерілуі органолептикалық көрсеткіштердің нашарлауымен қатар жүрмеді. Атап айтқанда, ұнтақтың түсі қанықкан, ашық қызыл болып қалды, қараю немесе табиғи реңкті жоғалту белгілері байқалмады. Өнімнің дәмдік және хош иісті қасиеттері де тұрақты болып қалды және кептірілген өсімдік материалдарының сапа талаптарына сай болды. Бұл бақылаулар визуалды деректермен расталады (2-сурет, C позициясы), мұнда 60 ° C температурада алынған ұнтақ біркелкі текстурамен және қарқынды түспен сипатталады. Осылайша, қызанақ шикізатын 60 ° C температурада кептіруді оңтайлы деп санау керек, өйткені бұл режим жоғары органолептикалық көрсеткіштерді сақтай отырып және термиялық бұзылу белгілерінсіз ең аз кептіру уақытын (20 сағат) қамтамасыз етеді. Қызанақ ұнтағынан айырмашылығы, қарбыз ұнтағы үшін температураның 60 ° C дейін көтерілуі өнімнің сапа көрсеткіштеріне теріс әсер етті. Кептіру уақытының 40°C-та 40 сағаттан 60°C-та 34 сағатқа дейін қысқаруына қарамастан, максималды температурада ұнтақтың айқын қараюы тіркелді, бұл шикізат компоненттерінің термиялық ыдырауының басталғанын көрсетеді. Өзіне тән түстің жоғалуы және дәм мен хош иістің

нашарлауы бұл режимді пайдалануды орынсыз етеді. Қарбыз ұнтағын кептіру үшін ең қолайлы температура режимі - 50 ° С, бұл процестің ұзақтығы 37 сағатты құрады. Егер бұл шарттар орындалса, органолептикалық қасиеттердің тұрақтылығы қамтамасыз етіледі: ұнтақ бастапқы өнімнің табиғи түсін, хош иісін және дәмін сақтайды. Көрнекі талдау деректері (2-сурет, D позициясы) 50 °C температурада өнім біркелкі құрылым мен жеңіл реңкті сақтайтынын растайды, бұл термиялық бұзылудың жоқтығын көрсетеді.

Қызанақ бойынша тәжірибелік мәліметтерді математикалық өңдеу нәтижесінде көп реттік регрессия қызанақтың кептіру уақытына $\beta = -0,75$, $p < 0,05$ және қарбыз $\beta = -1,0$, $p < 0,001$ температураның айтарлықтай кері әсер ететінін көрсетті. Екі модель де статистикалық маңызды және жоғары дәлдікке ие: қызанақ үшін $R^2 = 0,9899$ және қарбыз үшін $R^2 = 0,987$.

Қызанақ пен қарбыз ұнтақтарының органолептикалық және физика-химиялық қасиеттері (2-кесте) инфрақызыл кептіру кезінде зерттелді (қарбыз үшін 60 ° С, қызанақ үшін 50 ° С). Инфрақызыл кептіру кезінде қарбыз ұнтағының ылғалдылығы -13,1%, қызанақ ұнтағының ылғалдылығы -13,4% болды. Қарбыз ұнтағы үшін лиофильді және инфрақызыл кептіру кезінде титрленетін қышқылдық 0,38-ден 0,46 0Т-ға дейін, ал белсенді қышқылдық 4,3-тен 5,1 бірлікке дейін және т.б.. Органолептикалық қасиеттері бойынша қызанақ пен қарбыз ұнтақтары ұнтақты түрге ие болды; түсі - ашық қызылдан ашық қызылға дейін; иісі мен дәмі – бөгде иіссіз кептірілген қызанақ пен қарбызға тән. Физика-химиялық қасиеттері бойынша қарбыз мен қызанақ ұнтақтары рұқсат етілген шектерде болды.

2-кесте. Қарбыз және қызанақ ұнтақтарының органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Қарбыз ұнтағы	Қызанақ ұнтағы
Дәмі мен иісі	ерекше қарбыз дәмі мен жағымды хош иісі бар тәтті	қышқыл және жағымды хош иісі бар жақсы анықталған қызанақ дәмі бар тәтті емес
Түсі	ашық қызғылт сары-қызыл	ашық қызыл
Консистенциясы	ұнтақ	
Ылғалдылық, %	13.1	13.4
Титрленетін қышқылдық , 0 Т	0,46	0,38
pH	5.1	4.3

Инфрақызыл кептіру арқылы қызанақ пен қарбыздың құрғақ ұнтақтарын алғаннан кейін ликопинді алу үшін еріткіш (гексан) қосылды. Ликопинді экстракциялау үшін еріткіш оның полярлығын және ликопинді экстракциялау тиімділігін ескере отырып таңдалды. Еріткіш ретінде гексан (тазалығы – химиялық таза) пайдаланылды. Экстракция ұнтақтардың (қызанақ пен қарбыз) еріткішке әртүрлі массалық қатынасында: 1:3, 1:5 және 1:7, ликопиннің ең көп экстракциясы үшін оңтайлы қатынасты анықтау үшін жүргізілді. Барлық үлгілер үшін процесс 20 °C температурада 30 минут бойы жүргізілді. Нәтижелер 3-кестеде берілген.

Зерттеулердің нәтижелері ликопиннің оңтайлы экстракциясына 1:5 қатынасында қол жеткізілетінін көрсетті, бұл қарбыз ұнтағы - 694,7 мг, қызанақ ұнтағы - 968,6 мг ликопиннің ең үлкен массасын қамтамасыз етеді. Шикізат пен еріткіштің 1:5 қатынасы ретінде оңтайлы нұсқа таңдалды, бұл сығындыдағы ликопиннің ең көп алынуын қамтамасыз етті.

Келесі кезеңде экстракция температурасы 20-дан 40 °С-қа дейін өзгерді (жоғарғы шек гексанның қайнау температурасын ескере отырып анықталды), ал процестің ұзақтығы 15 минуттық қадаммен 15-тен 60 минутқа дейін зерттелді. Процесс үнемі араластыру арқылы жүзеге асырылды. Нәтижелер 4-кестеде берілген.

3-кесте. Ұнтақтағы ликопиннің әртүрлі ұнтақ пен еріткіш қатынасында гексан экстракциясы арқылы сандық бағасы

Қоспадағы ұнтақтар мен гексанның көлемдік қатынасы	100 г ұнтақтағы ликопиннің массасы, мг	
	Қарбыз ұнтағы	Қызанақ ұнтағы
1:3	4 94.7	5 61.8
1:5	694,7	968.6
1:7	5 73.5	6 95.3

4 - кесте. Әртүрлі температура мен процесс ұзақтығында жүргізілген экстракция кезінде ұнтақ үлгілеріндегі ликопин мөлшері

Көрсеткіштер		100 г ұнтақтағы ликопиннің массасы, мг	
Экстракция процесінің			
температурасы t, °С	Экстракция процесінің		
ұзақтығы τ, мин	Қызанақ		
ұнтағы	Қарбыз		
ұнтағы			
20	30	968.6	694,7
20	45	1108,5	755.1
20	60	1120.7	845.3
30	30	1226.3	904.4
30	45	1393.4	997.1
30	60	1440,5	1178.3
40	30	1502.3	1256,7
40	45	1580.4	1274,8
40	60	1507,1	1204.8

Ликопиннің максималды мөлшері 40°С температурада және 45 минут ұстау уақытында байқалады: 1580,4 мг (қызанақ) және 1274,8 мг (қарбыз). ликопинді экстракциялаудың оңтайлы параметрлері анықталды: температура 40°С және ұстау уақыты 45 минут.

Математикалық өңдеу нәтижелері.

Эксперименттік мәліметтерді математикалық өңдеу нәтижесінде детерминация коэффициенті

R^2 = 0,928 теңдеу алынды, ол қызанақ помасынан ликопинді алу процесін сипаттауға мүмкіндік береді:

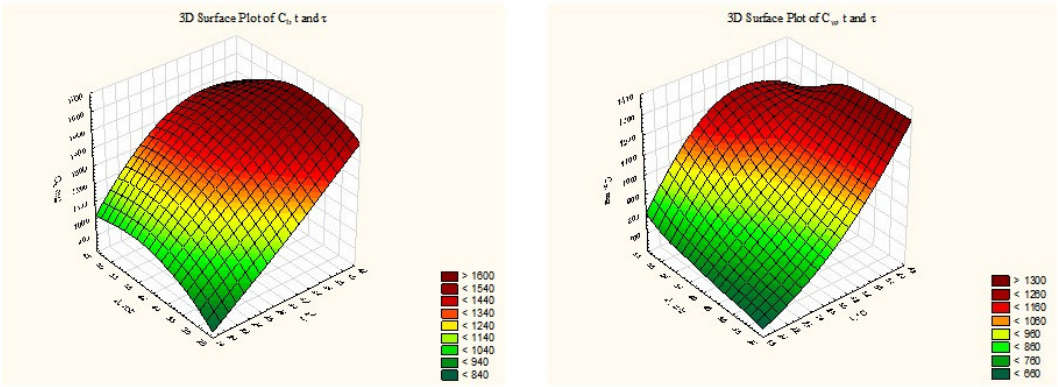
$$C_t = 434.87 + 0.931\,t + 0.248\,\tau$$

Қарбыздар үшін теңдеу R^2 = 0,923 анықтау коэффициентіне ие және алынған ликопиннің мөлшеріне температура мен уақыттың әсерін сипаттауға мүмкіндік береді:

$$C_w = 105.46 + 0.930\,t + 0.241\,\tau$$

* C_t-қызанақ ұнтағындағы ликопин мөлшері, мг/100 г; C_w-қарбыз ұнтағындағы ликопин мөлшері, мг/100 г;

Екі модель де статистикалық маңызды ($p<0,001$) және шығыс параметрінің дисперсиясын түсіндірудің жоғары дәрежесімен сипатталады. Экстракция температурасы ликопиннің құрамына басым әсер етеді, ал экстракция уақыты азырақ, бірақ сенімді әсер етеді. Нәтижелердің графикалық көрсетілімі (2-сурет) жауап беттері түріндегі экстракция температурасы мен уақытының жоғарылауы өнімдегі ликопин мөлшерінің артуына ықпал ететінін растады. Ұсынылған үлгілерді экстракция шарттарын оңтайландыру және ликопинмен байытылған ұнтақтарды алудың тиімді технологиялық режимдерін әзірлеу үшін пайдалануға болады.



A B

2-сурет. Экстракция температурасының (°C) және уақыттың (мин) ликопин мөлшеріне әсерін көрсететін беттік график (Surface Plot) А) қызанақ ұнтағы үшін; В) қарбыз ұнтағы үшін

Қорытынды. Зерттеу барысында өсімдік (қызанақ) және қауын (қарбыз) шикізатынан ликопин алудың технологиялық процестері зерттелді. Қызанақ үшін 60 ° С және қарбыз үшін 50 ° С температурада инфрақызыл кептіру оңтайлы органолептикалық көрсеткіштерді, сонымен қатар 13,1-13,4% шегінде қалдық ылғалдың қолайлы деңгейін қамтамасыз ететіні анықталды.

Қызанақ пен қарбыз шикізатынан ликопинмен байытылған құрғақ ұнтақтарды алу технологиясы жасалды. ликопин гексан көмегімен ультрадыбыстық экстракция арқылы алынды. Оңтайлы экстракция шарттары ретінде танылды: шикізат пен еріткіштің қатынасы 1:5, температура 40 °С және процесс ұзақтығы 45 минут. Сығындылардағы ликопиннің максималды мөлшері қызанақ үшін 1580,4 мг және қарбыз үшін 1274,8 мг болды.

Қаржыландыру: *Бұл жұмыс BR22886613 «Ауыл шаруашылығы дақылдарын өңдеу мен сақтаудың инновациялық технологияларын дамыту» ғылыми-техникалық бағдарламасы аясында жүзеге асырылатын «Онкологиялық аурулардың алдын алу үшін құны төмен және жоғары сапалы көрсеткіштері бар биологиялық белсенді функционалдық қоспаларды өндіру технологиясын әзірлеу» жобасы аясында дайындалды. Жоба 267 «Білім мен ғылыми зерттеулердің қолжетімділігін арттыру» бюджеттік бағдарламасы, Қазақстан Республикасы Ауыл*

шаруашылығы министрлігінің 2024-2026 жылдарға арналған 101 «Ғылыми зерттеулер мен іс-шараларды бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру» кіші бағдарламасы бойынша қаржыландырылады.

Әдебиеттер

1. Saini R.K., Rengasamy K.R.R., Mahomoodally F.M. et al. Protective effects of lycopene in cancer, cardiovascular, and neurodegenerative diseases: An update on epidemiological and mechanistic perspectives // Pharmacological Research.-2020.-Vol.155: 104730. DOI 10.1016/ j.phrs.2020.104730.

2. Kulawik A., Cielecka-Piontek J., Zalewski P. The importance of antioxidant activity for the health-promoting effect of lycopene// Nutrients. - 2023. -Vol.15 (17): 3821. DOI 10.3390/nu15173821.

3. Deng Y., Zhao S., Yang X. et al. Evaluation of extraction technologies of lycopene: Hindrance of extraction, effects on isomerization and comparative analysis – A review // Trends in Food Science and Technology. -2021.-Vol.115.- P.285-296. DOI 10.1016/j.tifs.2021.06.051.

4. Ashraf W., Latif A., Lianfu Z. et al. Technological advancement in the processing of lycopene:A review//Food Reviews International.-2020.-Vol.38(5).-P.857-883. DOI 10.1080/87559129.2020.1749653.

5. Kirpichenkova E.V., Korolev A.A., Onishchenko G.G., Nikitenko E.I., Denisova E.L., Fetisov R.N., Petrova E.S., Fanda E.A. Study of consumption frequency of the main sources of lycopene and its quantification in students' diet // I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald. - 2018. -Vol.26. - P.474-483. DOI 10.23888/PAVLOVJ2018264474-483.

6. Saini R.K., Nile S.H., Park S.W. Chemical stability of lycopene in processed products: A review of the effects of processing methods and modern preservation strategies // Journal of Agricultural and Food Chemistry. -2019. -Vol.68 (3).- P.712-726. DOI 10.1021/acs.jafc.9b06669.

7. Kristal A.R., Till C., Platz E.A., Song X., King I.B., Neuhouser M.L., Ambrosone C.B., Thompson I.M. Serum lycopene concentration and prostate cancer risk: Results from the Prostate Cancer Prevention Trial // Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention.- 2011.-Vol.20(4).-P. 638-646. DOI 10.1158/1055-9965.EPI-10-1221.

8. Imran M., Ghorat F., Ul-haq I., Ur-rehman H., Aslam F., Heydari M., Shariati M.A., Okuskhanova E., Yessimbekov Z., Thiruvengadam M., Hashempur M.H., Rebezov M. Lycopene as a natural antioxidant used to prevent human health disorders // Antioxidants.- 2020.-Vol.9(8):706. DOI 10.3390/antiox9080706.

9. Morgia G., Voce S., Palmieri F., Gentile M., Iapicca G., Giannantoni A., Blefari F., Carini M., Vespasiani G., Santelli G. et al. Association between selenium and lycopene supplementation and incidence of prostate cancer: Results from the post-hoc analysis of the PROCOMB trial // Phytomedicine.-2017. -Vol.34. -P.1-5. DOI 10.1016/j.phymed.2017.06.008.

10. Joshi B., Kar S.K., Yadav P.K., Yadav S., Shrestha L., Bera T.K. Therapeutic and medicinal uses of lycopene: a systematic review // International Journal of Research in Medical Sciences. - 2020. - Vol. 8(3): 1195. DOI 10.18203/2320-6012.ijrms20200804.

Авторлар туралы мәліметтер

Жұмалиева Г.Е. – техника ғылымдарының кандидаты, «Қазақ өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан, e-mail: guljan_7171@mail.ru;

Чоманов У.Ч. – техника ғығымдарның докторы, «Қазақ өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан, e-mail: chomanov@mail.ru;

Байзақова А.Б. - жаратылыстану ғылымдарының магистрі, ғылыми қызметкер, «Қазақ өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» Алматы, Қазақстан, e-mail: ainel0026@gmail.com;

Шоман Ә.К.- техника ғылымдарының мгистрі, аға ғылыми қызметкер, «Қазақ өңдеу және тамақ өнеркәсібі ғылыми-зерттеу институты» Алматы, Қазақстан, e-mail: shoman_a@mail.ru

Information about the authors

Zhumalieva G.E. - candidate of technical sciences, LLP ”Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry” Almaty, Kazakhstan, e-mail: guljan_7171@mail.ru;

Chomanov U.Ch. - doctor of technical sciences, LLP ”Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry” Almaty, Kazakhstan, e-mail: chomanov@mail.ru;

Baizakova A.B. - master of natural sciences, research fellow, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ainel0026@gmail.com;

Shoman A.K.-master of technical sciences, LLP ”Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry” Almaty, Kazakhstan, e-mail: shoman_a@mail.ru

МРНТИ 65.29.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1122**

2024 ЖЫЛЫ ҚАЗАҚСТАНДА ЖИНАЛҒАН КЛАССЫЗ БИДАЙДЫ ТИІМДІ ПАЙДАЛАНУ ЖОЛДАРЫ

А.Ж. Исмагулова✉, Б.К. Тарабаев, Д.А. Шаймерденова, А.А. Махамбетова, О.И. Ким

С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,Астана,Қазақстан
✉*Корреспондент-автор: ismagul03@mail.ru*

Бұл мақалада 2024 жылғы Қазақстанда жиналған классыз бидайды қолдану жолдары қарастырылады. Зерттеудің мақсаты - бидайдың сапалық сипаттамаларын ескере отырып, оны тиімді өңдеу және пайдалану әдістерін ұсыну. Мақалада зертханалық және өндірістік әдістермен алынған нәтижелер көрсетіледі. Алынған мәліметтер классыз бидайды тағам және техникалық мақсатта қолдануға болатынын дәлелдеді.

Жұмсақ бидай дәнінің өнген кездегі технологиялық қасиеттерінің өзгерісін зерттеу және оны ұн өндірісінде пайдалану мүмкіндіктерін анықтау өзекті мәселе болып табылады. Осы зерттеудің мақсаты - өнген жұмсақ бидай дәнінің технологиялық қасиеттеріне әсерін бағалау.

Зерттеу барысында сағыздылық мөлшері 26, 28 және 30% болатын бидай ұнына «Тәуелсіздік» сортының 24, 48 және 72 сағат бойы өнген дәнінен алынған ұн 5, 10 және 15% мөлшерінде қосылды.

Альвеограф аспабында алынған нәтижелер өну үдерісі барысында P – созылуға қарсыласу қабілеті (мм H_2O), Ie - серпімділік (%) және P/L қатынасы (мұндағы L – созылғыштық) көрсеткіштерінің төмендегенін көрсетті. Сағыздылық мөлшері әртүрлі ұн үлгілерінде реологиялық қасиеттердің нашарлауы ұқсас сипатта болды. Атап айтқанда, сағыздылық мөлшері 26,0%, 28,0% және 30,0% болатын ұн үлгілерінде созылуға қарсыласу қабілеті тиісінше 46%, 34% және 48%-ға төмендеді. Сол үлгілерде серпімділік көрсеткіші сәйкесінше 13%, 15% және 13%-ға кеміді. Ал P/L қатынасы ұндағы сағыздылық мөлшері 26,0% болғанда – 66%, 28,0% – 58%, және 30,0% болғанда – 64%-ға төмендеді.

Аталған шарттарда жұмсақ бидай дәнін өндіру процесіне енгізу арқылы сапалы технологиялық қасиеттері бар ұн алуға мүмкіндік бар.

Түйін сөздер: классыз бидай, сағыздылық, седиментация, альвеограф, құлау саны,серпімділік.

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКЛАССНОЙ ПШЕНИЦЫ В КАЗАХСТАНЕ В 2024 ГОДУ

А.Ж. Исмагулова✉, Б.К. Тарабаев, Д.А. Шаймерденова, А.А. Махамбетова, О.И. Ким

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Астана,Казахстан,
e-mail: ismagul03@mail.ru

В данной статье рассматриваются способы использования неклассной пшеницы, собранной в Казахстане в 2024 году. Цель исследования - предложить эффективные методы переработки и применения пшеницы с учётом её качественных характеристик. В статье приведены результаты, полученные лабораторными и производственными методами. Полученные данные подтвердили возможность использования неклассифицированной пшеницы в пищевых и технических целях.

Актуальной задачей является изучение изменений технологических свойств пророщенного зерна мягкой пшеницы и определение возможностей его применения в производстве муки. Целью данного исследования является оценка влияния проращивания на технологические свойства мягкой пшеницы.

В ходе исследования в муку с содержанием клейковины 26%, 28% и 30% добавлялась мука, полученная из зерна сорта «Тәуелсіздік», пророщенного в течение 24, 48 и 72 часов, в количестве 5%, 10% и 15%.

Результаты, полученные на альвеографе, показали, что в процессе проращивания показатели P - сопротивление растяжению (мм H_2O), Ie - эластичность (%) и отношение P/L (где L - растяжимость) снижаются. Ухудшение реологических свойств в образцах муки с разным содержанием клейковины носило схожий характер. В частности, сопротивление растяжению снизилось на 46%, 34% и 48% соответственно при содержании клейковины 26,0%, 28,0% и 30,0%. Показатель эластичности уменьшился на 13%, 15% и 13% соответственно. Отношение P/L снизилось на 66%, 58% и 64% в образцах с содержанием клейковины 26,0%, 28,0% и 30,0% соответственно.

При указанных условиях внедрение пророщенного зерна мягкой пшеницы в производственный процесс позволяет получать муку с хорошими технологическими свойствами.

Ключевые слова: неклассная пшеница, клейковина, седиментация, альвеограф, число падения, эластичность

EFFICIENT UTILIZATION METHODS OF NON-GRADED WHEAT IN KAZAKHSTAN IN 2024

A.Zh. Ismagulova✉, B.K. Tarabayev, D.A. Shaimerdenova, A.A. Makhambetova, O.I. Kim

Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan,
e-mail: ismagul03@mail.ru

This article explores the ways of utilizing non-graded wheat harvested in Kazakhstan in 2024. The aim of the research is to propose effective methods for processing and using the wheat, taking into account its quality characteristics. The article presents results obtained through laboratory and industrial methods. The data demonstrate that non-graded wheat can be used for both food and technical purposes.

Studying the changes in the technological properties of sprouted soft wheat grain and determining its potential use in flour production is a relevant issue. The goal of this study is to assess the effect of germination on the technological properties of soft wheat grain.

During the research, flour with gluten content of 26%, 28%, and 30% was mixed with 5%, 10%, and 15% flour made from “Təuelsizdik” variety wheat grains that had germinated for 24, 48, and 72 hours.

Results obtained using the alveograph showed that during the germination process, indicators such as P - resistance to extension (mm H_2O), Ie - elasticity (%), and the P/L ratio (where L is extensibility) decreased. A similar deterioration in rheological properties was observed across flour samples with different gluten content. Specifically, resistance to extension decreased by 46%, 34%, and 48% in flour samples with gluten contents of 26.0%, 28.0%, and 30.0%, respectively. Elasticity decreased by 13%, 15%, and 13% in those same samples. The P/L ratio dropped by 66%, 58%, and 64% in samples with 26.0%, 28.0%, and 30.0% gluten content, respectively.

Under these conditions, incorporating germinated soft wheat grain into the production process allows for the production of flour with favorable technological properties.

Keywords: non-graded wheat, gluten strength, sedimentation, alveograph, falling number, elasticity

Кіріспе. Қазақстан Республикасы - әлемдегі жетекші бидай өндіруші елдердің бірі.2024 жылы елімізде бидай өндірісі айтарлықтай өсті. Атап айтқанда, Қазақстанда 2024 жылы бидай жинау 18,57 млн тоннаға жетті, орташа өнімділік 14,2 ц/га (2023 жылы - 12,1 млн тонна және 9,2 ц/га, 2022 жылы - тиісінше - 16,4 млн тонна және 12,8 ц/га). Бұл ретте 2024 жылы бидайдың орылған алқабы 13,06 млн га құрады (2023 жылы - 13,12 млн га, 2022 жылы - 12,81 млн га). Бұл өсім негізінен солтүстік облыстарда - Солтүстік Қазақстан, Қостанай және Ақмола аймақтарын-

да қамтамасыз етілді.

Алайда, бұл мол өнімнің сапасы біркелкі болмады. Кейбір партиялар жоғары сапалы болса, басқалары төмен сапалы немесе классыз болып шықты. Оның пайда болуы көбінесе ауа райының қолайсыздығы, агротехникалық шаралардың жеткіліксіздігі немесе сақтау және тасымалдау жағдайларының нашарлығымен байланысты.

Бұрын негізінен алдын ала өнген дайын бидай үлгілерін пайдаланылып келді.Мұндай тәсіл дәннің нақты өну жағдайын толық бейнелей бермейді және табиғи немесе егістік жағдайындағы өзгерістерді дәл көрсетпеуі мүмкін. Сонымен қатар, соңғы жылдары бидайдың егістік жағдайындағы өнуіне байланысты жүйелі мониторинг жүргізілмей, бұл бағытта ресми деректер жетіспеушілігі байқалады. Осыған байланысты, біз 2024 жылы зертханалық жағдайда бидайды өзіміз өсіріп, бақылау арқылы өндіруді жүзеге асырдық. Бұл тәсіл алынған дәннің табиғи өну үдерісіне барынша жақын болуын қамтамасыз етті және сапалық көрсеткіштері әдебиеттердегі деректермен үйлесім тапты.

Классыз бидайды тиімді пайдалану - агроөнеркәсіптік кешеннің өзекті мәселелерінің бірі. Егер бұл өнім дұрыс өңделмесе немесе қолданылмаса, ол экономикалық шығындарға әкелуі мүмкін. Сондықтан классыз бидайды тамақ өнеркәсібінде пайдалану мүмкіндіктерін зерттеу және оны тиімді өңдеу әдістерін әзірлеу маңызды.

Бұл мақалада 2024 жылғы Қазақстанда жиналған классыз бидайдың сапалық сипаттамалары, оны өңдеу әдістері және тамақ өнеркәсібінде пайдалану перспективалары қарастырылады. Зерттеудің мақсаты - классыз бидайды тиімді пайдалану жолдарын анықтау және оны экономикалық тұрғыдан тиімді өнімге айналдыру мүмкіндіктерін зерттеу.

Қазақстан - ірі астық өндіруші мемлекет. Алайда соңғы жылдары ауа райының қолайсыздығына байланысты өнім сапасының төмендеуі байқалып, төменгі класты (классыз) және өсіп-өнген жұмсақ бидай мол түседі. Мұндай астықты оңтайлы пайдалануға арналған зерттеулер мен шаралар қажет.

Классыз (5-класс астық) және жұмсақ бидай ферменттеліп, мал азығына немесе биоотынға айналдыру үшін қосымша технологиялар қажет. Мысалы, биоэтанол өндірісі үшін зақымдалған бидайды алдымен ферменттік гидролиз арқылы крахмалды алмастырылатын қоректік қантқа айналдырады [1]. Бұл үшін стационарлық зауыттарда температуралық және ферментік өңдеу қолданылады.

Төменгі сапалы бидайды пайдаланудың бірнеше бағыттары бар:

Жұмсақ бидай ұнынан нан-тоқаш өнеркәсібі және кондитерлік өнімдер көбіне кекстер, печеньелер, бәліштер, крахмал өнімдері дайындалады. Өсіп-өнген бидай ұны - функционалды азық. Оның құрамындағы құрамдық бөліктер (витамин, целлюлоза, аминқышқылдары) нан өнімдеріне қосымша қоректілік береді. Жоғарғы сапалы қоспа ретінде жұмсақ бидай ұнынан жартылай жоғары сортты ұн алынады. Дегенмен жұмсақ бидай ұнынан жасалған макарон өнімдері пішінін жойып, ұнтақ түспен жабысқақ болып қалуы мүмкін (көбіне жұмсақ бидай ұны макаронға қолайлы емес). Сондықтан макарон үшін негізінен қатты бидай пайдаланылады.

Қазақстан жағдайында да бидай өндірісі экономикалық маңызы зор салаға айналған. Бұл ретте сортсыз бидайды тағам өнеркәсібінде қолдану мәселесі ерекше назар аудартады. “Получение специальных добавок для хлебобулочных изделий из тонкодисперсионной муки” атты еңбекте 2024 жылғы қазақстандық классыз бидайдың тағамдық құндылығы мен нан пісіру өндірісіндегі әлеуеті қарастырылған. Зерттеу барысында бұл бидайдың құрамындағы ақуыз, тағамдық талшық және басқа да құнарлы элементтердің жоғары деңгейі анықталған [2].

Жалпы алғанда, жұмсақ бидай дәнінің технологиялық потенциалы оның тағам өнеркәсібінде кеңінен қолданылуына мүмкіндік беретін негізгі көрсеткіштердің бірі болып саналады. “Влияние факторов на формирование технологического потенциала зерна мягкой пшеницы” мақа-

ласында зерттеушілер технологиялық потенциалға әсер ететін негізгі сегіз факторды бөліп көрсеткен. Олардың ішінде сорттық ерекшеліктердің үлесі басым (28,4%), бұл сортсыз бидайды тиімді пайдалануға бағытталған ғылыми зерттеулердің өзектілігін дәлелдейді. Сондай-ақ табиғи-климаттық жағдайлар, бағалау әдістемесі және жинаудан кейінгі өңдеу тәсілдері де технологиялық потенциалға әсер ететін маңызды факторлар ретінде көрсетілген [3].

Өнім жинауға дейінгі (дала жағдайындағы) өну мен зертханалық жағдайда бақыланатын өну үдерісінің арасында айтарлықтай айырмашылықтар бар. Өнім жинауға дейінгі өну кезінде дәндердің өну деңгейі өте әркелкі болса, зертханалық жағдайда жүргізілетін бақыланатын өну үдерісі біркелкі жүріп отырады. Соған қарамастан, ғылыми әдебиеттерде бақыланатын өну үдерісі жиі қолданылып келеді, өйткені ол өну салдарынан болатын өзгерістерді түсінуге мүмкіндік береді [4-6].

Ғалымдар бірнеше онжылдық бойы бидай дәнінің өнім жинауға дейінгі өнуінің дән өнімдері өндірісіне әсерін зерттеп келеді. Қазіргі уақытта бұл саладағы білімдердің көп бөлігі егістік жағдайында өнген дәннің орнына зертханалық жағдайда өнген бидайға жасалған зерттеулер негізінде қалыптасқан. Дегенмен, зертханалық жағдайда жүргізілетін бақыланатын өну ферменттердің әлдеқайда жоғары және біркелкі белсенділігіне, сондай-ақ эндоспермнің негізгі құрам бөліктерінің қарқынды ыдырауына алып келеді. Heleen Olaerts және әріптестері [7] атап өткендей, егістікте табиғи жолмен өнген бидай мен зертханалық жағдайда өнген үлгілер арасындағы өну дәрежесінің айырмашылықтары кейбір зерттеулердегі қарама-қайшы нәтижелердің себепшісі болуы мүмкін және бұл факторларды ескерген жөн.

Сонымен қатар, ғалымдар бидайдың өну үдерісінің ұнның физика-химиялық және реологиялық қасиеттеріне әсері әлі де жеткілікті зерттелмеген және бұл бағытта ғылыми қызығушылықтың бар екенін атап өтеді [8]. Ал Singh және т.б. [9] зерттеулерінде бидайдың өнуі қамыр құрылымының жұмсаруына алып келіп, серпімділік модулі мен тұтқырлық модулінің төмен мәндерімен сипатталатыны анықталған.

Классыз жұмсақ бидайдың сапасын бағалау үшін жүргізілген заманауи зерттеулер оның микроструктуралық ерекшеліктеріне назар аударады. “Определение перспективности сортов мягкой пшеницы Казахстана методом микроскопирования” мақаласында жұмсақ бидай сорттарының технологиялық потенциалы мен дән сапасының көрсеткіштері олардың анатомиялық құрылымымен байланысты екені дәлелденген. Бұл ретте Альбидум-31, Степная-50 және Актобе-39 сияқты сорттар ерекше перспективалы деп танылған [10].

Осыған байланысты бұл зерттеу жұмыстары жұмсақ бидай дәнінің зертханалық жағдайда өндірілуінің технологиялық қасиеттерге және оның әрі қарай қолданылу мүмкіндіктеріне әсерін анықтауға бағытталған.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысаны ретінде жұмсақ бидайдың екі сорты ю Тәуелсіздік және Қарағанды 31 сорттары таңдалды. Салыстыру үшін негізгі ұн ретінде келесі жоғары сұрыпты өндіруші ұндар пайдаланылды: Романа (сағыздылығы - 26%), Цесна (28%) және Пионер (30%).

Өнуі. Зерттеуде пайдаланылған дән “Impact of Germination and Fermentation on Rheological and Thermo-Mechanical Properties of Wheat and Triticale Flours” [11], “Effect of sprouting whole wheat grain on the sensory quality, physicochemical properties, and antioxidant activity of cupcakes” [12] және “Sprouting improves the bread-making performance of whole wheat flour (Triticum aestivum L.)” [13] атты мақала көздеріне сүйене отырып жетілдірілген әдістеме бойынша өндірілді.

Зерттеу үлгілері ретінде алынған бидай дәндері алдымен ағынды сумен жуылып, кейін 1% натрий хлориді (NaCl) ерітіндісінде 30 минут бойы залалсыздандырылды. Осыдан соң дәндер бейтарап pH көрсеткішіне дейін сумен мұқият шайылды. Соңғы шаюдан кейін бидай дәндері суға салынып (дән мен судың қатынасы 1:2) 20 °C температурада 24 сағат бойы жібітілді.

Жібітілген дәндер біркелкі етіп өндіру табақшаларына жайылып, үсті ақ түсті дымқыл мақта мата сүлгімен жабылды және 25 ± 1 °С температурада, 85% салыстырмалы ылғалдылық жағдайында 24, 48 және 72 сағат бойы өндірілді. Өнген бидай дәндері 50–55 °С температурада конвекциялық пеште 5 сағат бойы соңғы ылғалдылығы 9,0–12,0% болғанға дейін кептірілді.

Ұн алу. Келесі зерттеулер үшін өнген бидай Stegler LM-500 зертханалық диірменінде (айналу жиілігі 28 000 айн/мин) < 0,8 мм ұнтақталды. Алынған ұн шыны ыдыстарда шамамен 4 °С температурада сақталып, кейінгі зерттеулерге пайдаланылды. Одан кейін әртүрлі сағыздылық мөлшері бар коммерциялық бидай ұны мен өнген бидай ұнын 95:5%, 90:10% және 85:15% қатынасында араластырып, ұн қоспалары дайындалды.

Желімділіктің мөлшері мен сапасын бағала.у Желімділіктің массалық үлесі мен сапасы ҚР СТ 1054-2002 «Астық. Бидайдағы желімділіктің мөлшері мен сапасын анықтау механикаландырылған құралдарды әдістерін қолдану арқылы анықтау» [14] стандартына сәйкес әдіс бойынша анықталды.

«Құлау саны» көрсеткішін анықтау. Ұнның «Құлау саны» көрсеткіші Хагберг-Пертен әдісі бойынша ҚР СТ 1889-2009. Астық және астық өнімдері. Құлаған сандарды анықтау». (ISO 3093-2004, NEQ) [15] стандартына сәйкес анықталды. Зерттеу ПЧП-7 құрылғысында (салқындату жүйесімен) 14% ылғалдылығы бар 7 г ұн және 25 мл су көлемінде жүргізілді.

Физика-химиялық көрсеткіштерді анықтау. Барлық пайдаланылған материалдардағы ылғалдың массалық үлесі ҚР СТ ИСО 712-2014 «Астық және оның өңделген өнімдері. Ылғалдылықты анықтау. Бақылау әдісі ((ISO 712:2009 Cereals and cereal products - Determination of moisture content -Reference method, IDT)» [16] мемлекеттік стандарт арқылы анықталды. Бидай мен мен ұндағы ақуыздың массалық үлесі мен крахмалдың массалық үлесі ҚР СТ 1564-2006 «Инфрақызыл анализаторлар көмегімен астық сапасының негізгі көрсеткіштерін анықтау» мемлекеттік [17] және келесі мемлекеттаралық стандарттардарға МЕМСТ 10845-98 «Астық және оның өңделген өнімдері. Крахмалды анықтау әдісі»[18], МЕМСТ 10846-91 «Астық және оның өңделген өнімдері сәйкес. Ақуызды анықтау әдісі»[19] стандартына сәйкес анықталды.

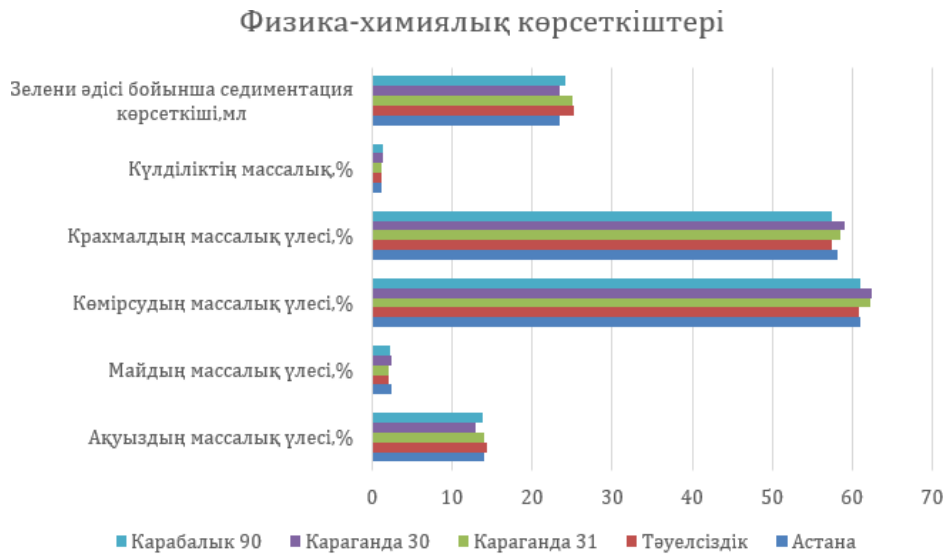
Реологиялық қасиеттерді анықтау. Chopin Alveolab альвеограф аспабында ұнның тауарлық немесе сынақ сорттарынын қамырының сапасын ҚР СТ ИСО 27971-2011 «Астық тұқымдастар мен одан жасалған өнімдер. Қарапайым бидай (Triticum aestivum L). Тұрақты гидротирлеу кезінде және ұн тартудың сынақ әдістемесін пайдаланып ұнның саудалық немесе сынаққа арналған сұрпынан жасалған қамырдың альвеографиялық қасиетін анықтау» мемлекеттік стандартына сәйкес өлшенді [20]. Бұл әдісте қамыр физиологиялық тұзды ерітіндімен иленіп, белгілі бір қалыңдыққа дейін жайылады, содан кейін арнайы жағдайда шар пішінді үлгілерге бөлінеді. Дайындалған қамыр шарлары жайылып, 20 минут демалдырылады, одан кейін ауа қысымымен үрленіп, жарылғанға дейін үлкейтіледі. Камера ішіндегі қысым өзгерісі график түрінде тіркеліп отырады, бұл қамырдың деформацияға қарсыласу қабілетін (P), үзілу кезіндегі қисық ұзындығын (L), деформация энергиясын (W) және ақуыз сапасын сипаттайтын басқа да көрсеткіштерді бағалауға мүмкіндік берді.

Нәтижелердің статистикалық өңделуі. Нәтижелер үш қайталау негізінде алынған орташа мән ± стандартты ауытқу түрінде көрсетілді. Эксперименттік деректер математикалық статистика әдістері негізінде Microsoft Excel және MathCad бағдарламалары арқылы өңделді. Алынған нәтижелер 0,95 сенімділік деңгейімен берілді. Деректерге дисперсиялық талдау (ANOVA) қолданылып, олардың маңыздылығы бағаланды.

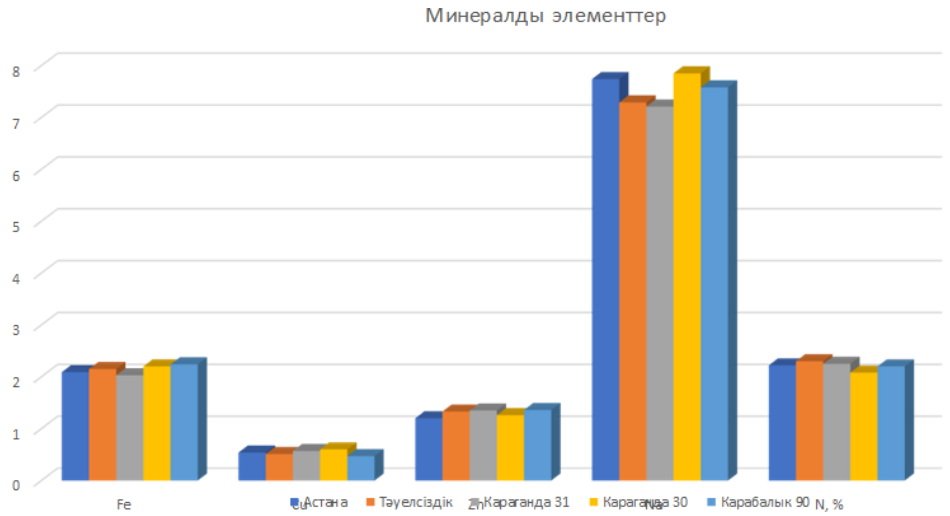
Нәтижелер мен талқылау. *Жұмсақ бидай дәнінің өнгіштігі кезінде оның химиялық құрамының өзгеруі.*

2024 жылы өсірген жұмсақ бидай дәніне зертханалық жағдайда жоспарлы мониторинг жүргізілді. Бұл үдеріс барысында дәннің өну динамикасы, сыртқы морфологиялық өзгерістері,

физика-химиялық және технологиялық қасиеттері жүйелі түрде бақыланды. Әр кезеңде алынған деректер тіркеліп, дән сапасының негізгі көрсеткіштері (ақуыз, крахмал, ферменттік белсенділік, т.б.) бағаланды. Жүргізілген мониторинг нәтижесінде алынған мәліметтер өнген бидайды әрі қарай тиімді пайдалану мүмкіндіктерін ғылыми негізде талдауға мүмкіндік берді.



1 - сурет. Физика-химиялық көрсеткіштері



2 - сурет. Минералды элементтері

1-кесте. Әр бидай сортының көрсеткіштері

Бидай (сорт)	Ақуыздың массалық үлесі,%	Майдың массалық үлесі, %	Көмірсу дың массалық үлесі,%	Крахмал дың массалық үлесі,%	Күлдің масса лық үлесі,%	Зелени әдісі б/ша седиментация көрсеткіші, мл	Сағызыд-ылығы,%	Құлау саны,с
Астана	13,9	2,34	61,05	58,19	1,25	23,4	25,1	333
Тәуелсіздік	14,4	2,07	60,85	57,48	1,11	25,2	28,3	377

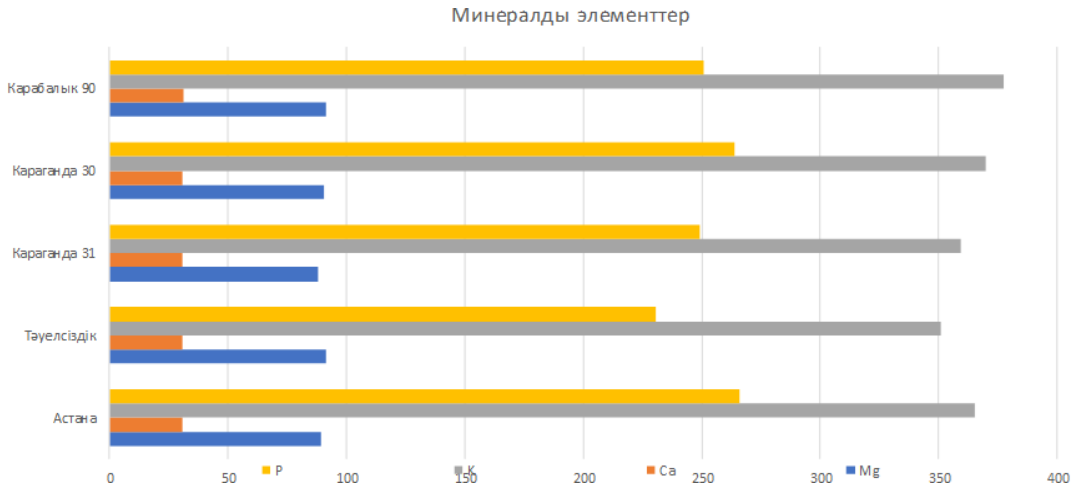
Караганда 31	14,04	2,11	62,22	58,55	1,14	25	29,1	387
Караганда 30	13	2,4	62,51	59,07	1,34	23,5	26	373
Карабалык 90	13,88	2,27	60,95	57,36	1,26	24,1	28,4	353

1-сурет және 1-кестеде бес бидай сортының (Астана, Тәуелсіздік, Караганда 31, Караганда 30, Қарабалық 90) физика-химиялық көрсеткіштері берілген. Ақуыз мөлшері 13,88–14,4% аралығында, ең көбі Тәуелсіздік сортында. Құлау саны бойынша Караганда 31 сорты (387 с) және седиментация көрсеткіші бойынша Тәуелсіздік (25,2 мл) ерекшеленеді. Жалпы, Караганда 31 сапалық көрсеткіштерімен алда, ал Астана мен Қарабалық 90 төменірек мәндер көрсетеді.

2 - кесте. Әр бидай сортының минералды заттарының көрсеткіштері

Минералды заттары					
Бидай(сорт)	Fe	Cu	Zn	Na	N
Астана	2,09	0,54	1,2	7,74	2,22
Тәуелсіздік	2,15	0,51	1,33	7,29	2,3
Караганда 31	2,03	0,57	1,35	7,21	2,25
Караганда 30	2,2	0,6	1,26	7,85	2,08
Карабалык 90	2,14	0,47	1,36	7,58	2,2

2-сурет және 2-кестеде бес бидай сортының минералдық элементтері (Fe, Cu, Zn, Na және N) көрсетілген. Темір мөлшері 2,03–2,2 мг аралығында, ең көбі Караганда 30 сортында (2,2 мг). Натрий деңгейі барлық сортта жоғары (7,21–7,85 мг), ал мыс ең төменгі элемент болып табылады (0,47–0,61 мг). Жалпы, Караганда 30 сорты минералдық құрам бойынша ерекшеленеді, ал қалған сорттарда айырмашылық аз.



3 - сурет. Минералды элементтері

3 - кесте. Әр бидай сортының минералды заттарының көрсеткіштері

Минералды заттары				
Бидай(сорт)	Mg	Ca	K	P
Астана	89,4	31,01	365,24	265,81
Тәуелсіздік	91,31	30,75	351,08	230,83
Караганда 31	88,06	31,09	359,42	249,01
Караганда 30	90,66	31,11	370,04	263,67
Карабалык 90	91,49	31,32	377,21	250,94

Ал 3-сурет және 3-кестеде барлық сорттарда магний мен кальций мөлшері шамалас болса, калий мен фосфордың деңгейі едәуір жоғары екені анықталды. Ең көп калий мен магний Қарабалық 90 сортында, ал фосфордың ең жоғарғы көрсеткіші Астана сортында байқалады. Тәуелсіздік сорты минералдық заттардың салыстырмалы түрде төмен мөлшерімен ерекшеленеді. Жалпы алғанда, барлық бидай сорттарының құрамында калий мен фосфор басым болып табылады.

Infracont XGrain анализаторы арқылы ұн үлгілерінің ылғалдылығы, сағыздылық мөлшері және Зелени әдісі бойынша седиментация көрсеткіші анықталды. Нәтижелер классыз бидайдан алынған ұн қоспаларының сапалық көрсеткіштері жоғары сұрыпты ұнмен салыстыруға болатынын көрсетті (4-кесте).

4-кесте. Әр бидай сортының ылғалдылық, сағыздылық және седиментация көрсеткіштері

Бидай(сорт)	**Ылғалдылығы**,%	**Сағыздылығы**,%	**Зелени әдісі бойынша седиментация көрсеткіші, мл**
Астана	11,65	26,3	35
Тәуелсіздік	11,8	29,7	39
Караганда 31	13,57	30	40
Караганда 30	12,31	27,2	36
Карабалык 90	8,37	30	40

4 кесте көрсеткендей, Астана сорты 11,65% ылғалдылық, 26,3% сағыздылық және 35 мл седиментация көрсеткішін көрсетті, бұл оның орташа сапалы ұн алуға жарамды екенін айқындайды. Тәуелсіздік сорты 11,80% ылғалдылық, 29,7% сағыздылық және 39 мл седиментация мәндерін көрсетіп, жақсы технологиялық қасиеттерге ие екенін көрсетті. Қарағанды 31 сорты 13,57% ылғалдылықпен, 30,0% сағыздылықпен және 40 мл седиментация көрсеткішімен сапалы ұн алуға жоғары әлеуеті бар екенін дәлелдеді. Қарағанды 30 сорты 12,31% ылғалдылық, 27,2% сағыздылық және 36 мл седиментация көрсеткіштерін көрсетіп, орташа сапалы ұнға сәйкес келетінін көрсетті. Қарабалық 90 сорты 8,37% ылғалдылыққа қарамастан, 30,0% сағыздылық және 40 мл седиментация нәтижелері арқылы жоғары сапалы ұн алуға жарамды екенін көрсетті.

2024 жылғы өнім «Тәуелсіздік» сортының

жұмсақ бидай дәнінің өнгіштігі барысында сыртқы морфологиялық өзгерістер 24 сағаттан кейін-ақ байқалды. 24 сағаттан кейін дәндер тек бүршік жара бастаған болса, 48 және 72 сағат ішінде өскіндердің ұзындығы дәннің өзінен айтарлықтай асып түсті.

Өнгіштік үдерісінің бастапқы кезеңінде дәндегі ақуыздың массалық үлесінің шамалы артқаны байқалды – 14,43%-дан 14,52%-ға дейін (1-кесте). Бұл өсім дән ішінде ферменттердің әсерінен жүретін биохимиялық және физиологиялық өзгерістер нәтижесінде орын алуы мүмкін.

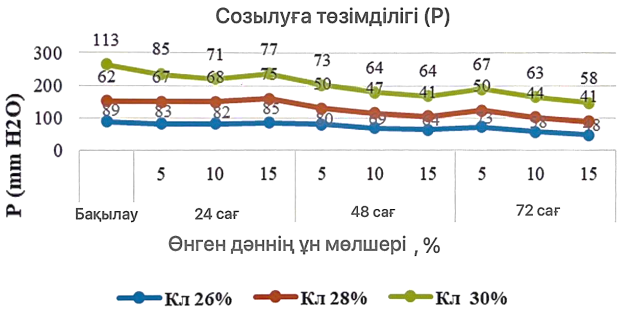
Крахмал бойынша көрсеткіштерде де өзгерістер тіркелді: 24 сағат өнгеннен кейін крахмалдың массалық үлесі 57,48%-дан 59,54%-ға дейін артты, ал 72 сағаттан кейін бұл көрсеткіш 53,88%-ға дейін төмендеді. Бұл өзгерістер, ең алдымен, дәннің бастапқы сапасына байланысты: дән сапасы жоғары болған сайын, ферменттердің әсеріне азырақ ұшырайды.

«Құлау саны» көрсеткіші альфа-амилазаның белсенділігіне тәуелді. Біздің зерттеулерімізде бастапқыда бұл көрсеткіш 233 секунд болса, 24 сағат өнгеннен кейін 62 секундқа дейін төмендеді (5-кесте).

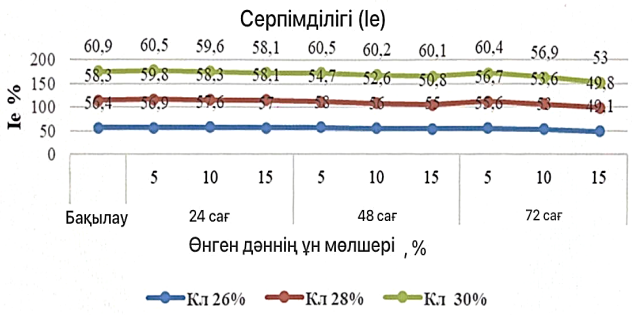
5 - кесте. «Тәуелсіздік» бидайының бастапқы үлгісінің және өну кезіндегі мәліметтері

Көрсеткіштер	Бастапқы көрсеткіші	Өсіру уақыты, сағ		
		24	48	72
Ылғалдың массалық үлесі, %	13,36±0,03a	9,41±0,12c	9, 43±0,03c	9,55±0,02b
Ақуыздың массалық үлесі, %	14,4±0,12c	14,52±0,08a	14,57±0,05a	13,29±0,05b
Сағыздылықтың массалық үлесі, %	28,22±0,09c	27,71±0,13b	26,15±0,01b	23,38±0,09a
Крахмалдың массалық үлесі, %	57,48±0,08b	59,54±0,03c	56,67±0,06b	53,88±0,07a
Құлау саны, сек	233±0,18b	62±0,0a	60±0,0a	60±0,0a

Өнген дән мөлшеріне байланысты ұнның реологиялық қасиеттерінің өзгерісі.



4 - сурет.24, 48 және 72 сағат өнген жұмсақ бидай дәнінің 5, 10, 15% мөлшерін қосқанда, сағыздылықсының массалық үлесі 26,0%, 28,0% және 30,0% болатын ұнның созылуға қарсыласу көрсеткішінің өзгеруі



5 - сурет.24, 48 және 72 сағат өнген жұмсақ бидай дәнінің 5, 10, 15% мөлшерін қосқанда, сағыздылықсының массалық үлесі 26,0%, 28,0% және 30,0% болатын ұнның эластикалылығының өзгеруі

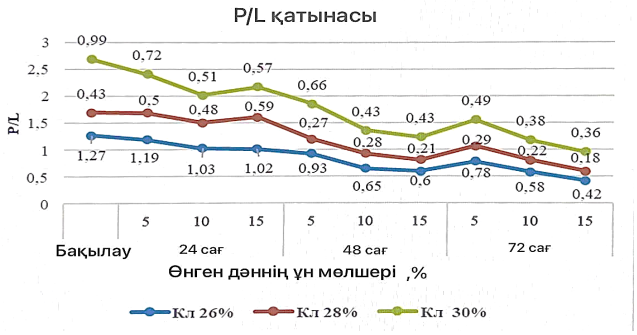
Жұмсақ бидай дәнінің өнген кездегі реологиялық қасиеттерінің өзгерісі әртүрлі сағыздылық мөлшеріндегі ұн үлгілерінде зерттелді. Зерттеу үшін 24, 48 және 72 сағат өнген бидай дәнінен

алынған ұн 5, 10 және 15% мөлшерде қосылды.

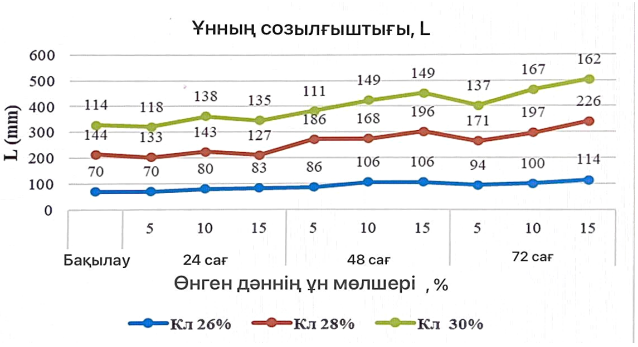
Альвеограф аспабы арқылы алынған нәтижелер ұнның реологиялық сипаттамалары – P (созылуға қарсыласу, мм H_2O), Ie (эластикалылық, %), және P/L (созылуға бейімділік пен қарсыласу қатынасы) көрсеткіштерінің өнгіштік процесі барысында біртіндеп төмендейтінін көрсетті. Сағыздылық мөлшері әртүрлі ұн үлгілерінде бұл өзгерістер ұқсас сипатта болды. Атап айтқанда, сағыздылық мөлшері 26,0%, 28,0% және 30,0% болатын ұндарда созылуға қарсыласу көрсеткіші тәжірибе соңында тиісінше 46%, 34% және 48%-ға азайды (4-сурет).

Аталған үлгілердегі эластикалылық көрсеткіші тиісінше 13%, 15% және 13%-ға төмендегені байқалды (5-сурет).

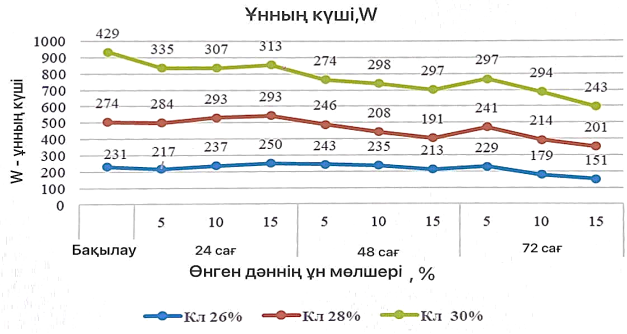
Зерттелген үлгілердегі P/L қатынасы келесі деңгейде азайды: сағыздылықсының массалық үлесі 26,0% болатын ұнда - 66%, 28,0% - 58%, және 30,0% - 64% (6-сурет).



6 - сурет. P/L қатынасының өзгеруі: әртүрлі сағыздылық 26,0%, 28,0% и 30,0% мөлшеріндегі ұнға 24, 48 және 72 сағат өнген жұмсақ бидай дәнінің 5, 10, 15% мөлшері қосылған жағдайдағы нәтижелер



7 - сурет. Сағыздылықсының массалық үлесі 26,0%, 28,0% және 30,0% болатын ұнға 24, 48 және 72 сағат өнген жұмсақ бидай дәнінің 5, 10 және 15% мөлшері қосылған жағдайда созылғыштықтың өзгеруі



8 - сурет.Сағыздылықсының массалық үлесі 26,0%, 28,0% және 30,0% болатын ұнға 24, 48 және 72 сағат өнген жұмсақ бидай дәнінің 5, 10 және 15% мөлшері қосылғандағы ұн беріктігінің (W) өзгерісі

Сонымен қатар, ұнның созылғыштығы (7-сурет) керісінше артқаны байқалды: сағыздылықсының массалық үлесі 26,0%, 28,0% және 30,0% болатын үлгілерде бұл көрсеткіш тиісінше 62%, 57% және 42%-ға өсті.

Бұл өзгерістердің барлығы өнген бидай дәніндегі құрылымдық және ферментативтік үдерістердің әсерінен туындап, ұнның беріктік көрсеткіші – W (8-сурет) мәнінің төмендеуіне алып келді. Атап айтқанда, сағыздылық мөлшері 26,0%, 28,0% және 30,0% болатын үлгілерде ұнның беріктігі тиісінше 35%, 27% және 43%-ға төмендеді.

Осылайша, алынған нәтижелер жұмсақ бидай дәнінің өну жағдайларына байланысты реологиялық қасиеттерінің өзгеру механизмдерін аны-

қтауға мүмкіндік берді. Бұл деректер өнген дәнді технологиялық мақсатта тиімді пайдалануда маңызды болып табылады.

Зерттеу барысында классыз бидайдың ұнының реологиялық қасиеттері мен оның сағыздылық құрамына қатысты және т.б. көрсеткіштері мұқият бағаланды.

Біздің зерттеулерімізде тәжірибе соңында ұнның созылуға қарсылasу қабілеті орта есеппен 43%-ға төмендеді. Эластикалылық көрсеткіші орташа есеппен 14%-ға азайды. Сонымен қатар, ұнның созылғыштығы (4-сурет) керісінше, бастапқы мәнмен салыстырғанда екі есеге жуық (54%) артқаны байқалды.

Бұл өзгерістердің барлығы өнген бидай дәнінде жүретін процестердің нәтижесі болып табылады және ұнның беріктік көрсеткіші – W (5-сурет) мәнінің төмендеуіне алып келді, орташа есеппен 35%-ға. Алынған мәліметтерге сәйкес, ұн беріктігіне ең жоғары оң әсер көрсеткен фактор – дәндегі сағыздылық мөлшері болды. Бұл нәтижелер Jia Guo және әріптестері [21] жүргізген зерттеулермен де сәйкес келеді, олар зерттелген бидай сортында қамырдың реологиялық қасиеттері ең алдымен сағыздылық мөлшеріне тәуелді екенін алға тартқан. Сонымен қатар, José Luis Navarro және т.б. [22] зерттеулерімен сәйкес, ұн беріктігіне ең үлкен теріс әсерді бидай дәнінің өну уақыты көрсеткені анықталды.Біз қосымша түрде ұнның беріктігіне сағыздылық мөлшерінің де әсерін зерттедік. Барлық анықталған тәуелділіктер теңдеу арқылы өрнектелді, ол белгілі факторлық мәндер негізінде ұнның беріктік көрсеткішін болжауға мүмкіндік береді.

Зерттеу жұмысы аясында 2024 жылғы өнімнен алынған жұмсақ, классыз бидайдың бес сорты: Астана, Тәуелсіздік, Қарағанды-31, Қарағанды-30 және Қарабалық-90 үлгі ретінде алынды. Алынған нәтижелер көрсеткендей, өнген дәндерден алынған ұнды жоғары сұрыпты ұнмен белгілі бір мөлшерде (5–15%) араластыру қамырдың реологиялық және функционалдық қасиеттерін айтарлықтай өзгертеді. Бұл сорттарға бастапқы мониторинг жүргізіліп, олардың сапалық сипаттамалары кешенді түрде бағаланды. Атап айтқанда, әр үлгінің химиялық құрамы (ақуыз, май, көмірсу, крахмал, күл), реологиялық көрсеткіштері (сағыздылық, Зелени әдісімен седиментация, құлау саны), сондай-ақ минералдық элементтер мөлшері (Fe, Zn, Cu, Na, Mg, Ca, K, P, N) анықталды. Жиналған мәліметтер кестелер мен графиктер арқылы талданып, әр сорттың технологиялық әлеуеті мен тағамдық мақсатта қолдануға жарамдылығы бағаланды. Бұл бастапқы көрсеткіштер өнгіштік процесі мен одан алынған ұн үлгілерінің сапасына әсерін зерттеуге негіз болды.

Физика-химиялық талдаулар (ақуыз, крахмал, сағыздылық, седиментация, минералды құрам) көрсеткендей, зерттелген «Тәуелсіздік» және «Қарағанды-31» сорттарының ұны тағамдық құрамы мен сапалық сипаттамалары бойынша жоғары сұрыпты ұнмен бәсекелесе алады. Атап айтқанда, сағыздылық пен седиментация көрсеткіштері нан өнімдерінің сапасын қамтамасыз етуге жеткілікті деңгейде болды. Бұл нәтижелер классыз бидайдың тек мал азығына ғана емес, сонымен қатар тағамдық мақсатта да тиімді пайдалануға болатынын дәлелдейді.

Зерттеу барысында өнген бидайда жүретін биохимиялық процестердің әсерінен ақуыздың, крахмалдың және басқа да қоректік заттардың гидролизденуі байқалды, бұл ұнның тағамдық құндылығын арттырды. Бұл құбылыстар халықаралық зерттеулерде де расталған: мысалы, Badawy және әріптестері (2024) өнген бидай ұнының антиоксиданттық белсенділігі мен минералдық құрамын арттыратынын, ал көмірсу мөлшерінің төмендейтінін көрсеткен [23]. Сондай-ақ Singh және т.б. (2001) өнудің ұзақтығы ферменттік белсенділікті күшейтіп, крахмалдың ыдырауына және ұнның функционалдық қасиеттерінің жақсаруына алып келетінін атап өткен [24].

Alveograph арқылы жүргізілген реологиялық талдаулар біздің зерттеуде өнген бидай қосылған қамырда созылғыштық (L), серпімділік (Ie) және беріктік көрсеткіші (W) жақсарғанын көрсетті. Әсіресе, 5–15% деңгейінде өнген дән қосқанда қамырдың құрылымдық тұрақтылығы артқаны байқалды. Бұл Badawy және әріптестері

[23] ұсынған мәліметтермен үндес: олардың тәжірибесінде өнген ұн қосылған қамырдың газ ұстау қабілеті жоғарылап, нанның құрылымы жақсарған. Сонымен қатар, «құлау саны» көрсеткішінің төмендеуі α-амилаза белсенділігінің артқанын дәлелдейді, бұл да халықаралық зерттеулерде (например, Pelembe et al., 2002) анықталған тенденцияға сәйкес келеді.

Біздің нәтижелер Controlled Sprouting әдісін қолданатын соңғы шетелдік жұмыстардың қорытындыларымен толық сәйкес келеді. Бұл әдіс өнудің оң әсерін (антиоксиданттар, минералдар, талшық) арттырып қана қоймай, технологиялық сапаны (қамырдың тұрақтылығы, пісіру сапасы) да сақтайды [13]. Осыған орай, өнген классыз бидай ұны тек мал азығына ғана емес, функционалдық тағам өнімдерін (нан, печенье, макарон) өндіруге жарамды екенін сенімді түрде айтуға болады.

Зерттеу нәтижелері өнген дән қосылған ұн қоспаларының жоғары тағамдық және технологиялық әлеуетін дәлелдеді. Дегенмен, болашақта әртүрлі өнген дән үлесін қолданудың нан, макарон, кондитер өнімдерінің сапасына, сақтау мерзіміне және микробиологиялық тұрақтылығына әсерін бағалау қажет. Сондай-ақ, классыз бидайдан алынған ұн қоспаларының тұтынушы қабылдауы мен органолептикалық қасиеттерін зерттеу де болашақта қарастырылу жоспарлануда.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу жұмыстары 2024 жылғы өнім классыз және жұмсақ бидайды, соның ішінде өнген дәндерді, Қазақстан жағдайында тиімді пайдалануға болатынын ғылыми тұрғыда дәлелдеді. Өнгіштік процесі дәннің химиялық құрамын – ақуыз, крахмал, сағыздылық және ферменттік белсенділік сияқты көрсеткіштерін өзгертіп, оның тағамдық және технологиялық сапасын арттырады. Әсіресе, 24 сағат өнген дәннің негізінде алынған ұн құрамындағы ақуыз мөлшері жоғарылады. Реологиялық талдаулар бойынша, өнген дәннің 5–10% қосылған үлгілерінде қамырдың серпімділік және созылғыштық қасиеттері жақсарып, оны функционалдық тағамдарға қолдану әлеуеті артқаны байқалды. Сонымен қатар, физика-химиялық көрсеткіштер мен минералды құрам бойынша Тәуелсіздік және Қарағанды-31 сорттарының классыз ұны жоғары сұрыпты ұнмен салыстыруға келетін деңгейде екені анықталды.

Зерттеу нәтижелері классыз жұмсақ бидайдың азықтық, технологиялық және техникалық (биоотын, мал азығы) мақсаттарда кеңінен қолданылу мүмкіндігін көрсетеді. Бұл бағыттағы жұмыстар ауыл шаруашылығы өнімдерін терең өңдеу мен азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету жолында маңызды қадам болмақ. Осылайша, төменгі сапалы астықты тиімді пайдалануға арналған технологиялар мен тәсілдер аграрлық сектордың тұрақты дамуына негіз болады. Зерттеу нәтижелері отандық классыз бидайдың өндірістік маңызын арттырып, оны терең өңдеудің ғылыми негіздерін қалыптастыруға жол ашады.

Әдебиеттер

1. Razdan N., Kocher G.S. Utilization of damaged and spoiled wheat grains for bioethanol production // Bioscience Biotechnology Research Communications.- 2018.- Vol.11(4).- P.658-673. DOI 10.21786/bbrc/11.4/17.

2. Бекболатова М.Б., Шаймерденова Д.А., Чаканова Ж.М., Изтаев А.И., Сарбасова Г.Т., Искакова Д.М., Есмамбетов А.А., Махамбетова А.А. Получение специальных добавок для хлебобулочных изделий из тонкодисперсионной муки // Вестник Алматинского технологического университета. - 2022. - № 4.- С.128-138. DOI 10.48184/2304-568X-2022-4-128-138.

3. Шаймерденова Д. А. Влияние факторов на формирование технологического потенциала зерна мягкой пшеницы // Вестник ВГУИТ. - 2017. - Т.79 (1).- С.205-208. DOI 10.20914/2310-1202-2017-1-205-208.

4. Navarro J, Moiraghi M, Quiroga F, León A, Steffolani M. Effect of wholewheat flour particle shape

obtained by different milling processes on physicochemical characteristics and quality of bread// Food Technology and Biotechnology.- 2020.-Vol.58(3).-P.325-336. DOI 10.17113/ftb.58.03.20.6766.

5. Berk B., Glaue Ş. Ö., Bayram Ö. Y., Ünlütürk S. Investigating the impact of sprouting on starch properties of wheat flour and non-linear rheological behavior of bread dough// Food Hydrocolloids.- 2025. - Vol. 164: 111180. DOI 10.1016/j.foodhyd.2025.111180.

6. Kaur N., Gasparre N., Rosell C. M. Expanding the application of germinated wheat by examining the impact of varying alpha-amylase levels from grain to bread// Journal of Cereal Science. - 2024. - Vol. 120: 104059. DOI 10.1016/j.jcs.2024.104059.

7. Romano A., Stevanato P. Germination data analysis by time-to-event approaches // Plants. -2020. - Vol.9(5):617. DOI 10.3390/plants9050617.

8. Naumenko N., Potoroko I., Kalinina I., Fatkullin R., Ivanisova E. The influence of the use of whole grain flour from sprouted wheat grain on the rheological and microstructural properties of dough and bread /International Journal of Food Science.-2021.- Vol.2021(1):7548759. DOI 10.1155/2021/7548759.

9. Cao W., Petker K., Abdi R., Joye I.J. Exploring the role of the liquid phase in dough made with sprouted wheat wholemeal in bread production//Journal of Cereal Science.- 2023.-Vol.110:103641. DOI 10.1016/j.jcs.2023.103641.

10. Шаймерденова Д.А., Горбатовская Н.А., Изтаев А.И. Определение перспективности сортов мягкой пшеницы Казахстана методом микроскопирования//Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий.-2017.-Т.79(3).-С.86-92. DOI 10.20914/2310-1202-2017-3-86-92.

11. Banu I., Patraşcu L., Vasilean I., Horincar G., Aprodu I. Impact of Germination and Fermentation on Rheological and Thermo-Mechanical Properties of Wheat and Triticale Flours //Applied Sciences. -2020. - Vol.10(21):7635. DOI 10.3390/app10217635.

12. Ahmed W.E., Ragab I., Gadallah M.G.E., Alhomaid R.M., Almujaydil M.S. Effect of sprouting whole wheat grain on the sensory quality, physicochemical properties, and antioxidant activity of cupcakes // Applied Food Research. -2024.-Vol.4(1):100412. DOI 10.1016/j.afres.2024.100412.

13. Cardone G., D'Incecco P., Pagani M.A., Marti A. Sprouting improves the bread-making performance of whole wheat flour (Triticum aestivum L.)//Science of Food and Agriculture.- 2020.- Vol.100(6).-P.2453-2459. DOI 10.1002/jsfa.10264.

14. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице с использованием механизированных средств / СТ РК 1054-2002. URL: https://online.zakon.kz .-Қаралған күні: 30.05.2025.

15. Зерно и зернопродукты. Определение числа падения (ИСО 3093-2004, NEQ) / СТ РК 1889-2009. URL: https://online.zakon.kz. -Қаралған күні: 30.05.2025.16. Зерно и продукты его переработки. Определение влажности. Контрольный метод (ISO 712:2009) / СТ РК ISO 712-2014. URL: . - Қаралған күні: 30.05.2025.

17. Определение основных показателей качества зерна с помощью инфракрасных анализаторов / СТ РК 1564-2006. URL: https://online.zakon.kz. - Қаралған күні: 30.05.2025.

18. Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала / ГОСТ 10845-98. URL: https://online.zakon.kz. - Қаралған күні: 30.05.2025.

19. Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка / ГОСТ 10846-91. URL: https://online.zakon.kz. - Қаралған күні: 30.05.2025.

20. Method for using the Chopin Alveograph/ICC Standard No.121/2.-1972. URL:

https://online.zakon.kz. - Қаралған күні: 30.05.2025.

21. Guo J., Wang F., Zhang Z., Wang D., Bao J. Characterization of gluten proteins in different parts of wheat grain and their effects on the textural quality of steamed bread // Journal of Cereal Science. - 2021. - Vol.102:103368. DOI 10.1016/j.jcs.2021.103368.

22. Navarro J.L., Losano Richard P., Moiraghi M., Bustos M., León A.E., Steffolani M.E. Effect of different wheat sprouting conditions on the characteristics of whole-wheat flour // Food Technology and Biotechnology.2024. - Vol.62(2). - P.264-274. DOI 10.17113/ftb.62.02.24.8435.

23. Badawy W. et al. Sprouted wheat flour for improving physical, chemical, rheological, microbial load, and quality properties of fino bread// Open Chemistry.-2024.-Vol.22(1): 20240030. DOI 10.1515/chem-2024-0030.

24. Singh H., Singh N., Kaur L., Saxena S. (2001). Effect of sprouting conditions on functional and dynamic rheological properties of wheat. Journal of Food Engineering.- 2001.-Vol.47(1). -P. 23–29. DOI 10.1016/S0260-8774(00)00094-7.

References

1. Razdan N., Kocher G.S. Utilization of damaged and spoiled wheat grains for bioethanol production // Bioscience Biotechnology Research Communications. - 2018. - Vol.11(4).- P.658-673. DOI 10.21786/bbrc/11.4/17.

2. Bekbolatova M.B., Shajmerdenova D.A., Chakanova Zh.M., Iztaev A.I., Sarbasova G.T., Iskakova D.M., Esmambetov A.A., Mahambetova A.A. Poluchenie special'nyh dobavok dlja hlebobulochnyh izdelij iz tonkodispersionnoj muki // Vestnik Almatinskogo tehnologicheskogo universiteta. -2022. - № 4. - S.128-138. DOI 10.48184/2304-568X-2022-4-128-138. [In Russian]

3. Shajmerdenova D. A. Vlijanie faktorov na formirovanie tehnologicheskogo potenciala zerna mjagkoj pshenicy // Vestnik VGUIT. - 2017. - T.79 (1).- S.205-208. DOI 10.20914/2310-1202-2017-1-205-208. [In Russian]

4. Navarro J, Moiraghi M, Quiroga F, León A, Steffolani M. Effect of wholewheat flour particle shape obtained by different milling processes on physicochemical characteristics and quality of bread// Food Technology and Biotechnology.-2020. -Vol.58(3).-P.325-336. DOI 10.17113/ftb.58.03.20.6766.

5. Berk B., Glaue Ş. Ö., Bayram Ö. Y., Ünlütürk S. Investigating the impact of sprouting on starch properties of wheat flour and non-linear rheological behavior of bread dough// Food Hydrocolloids. - 2025. - Vol. 164: 111180. DOI 10.1016/j.foodhyd.2025.111180.

6. Kaur N., Gasparre N., Rosell C. M. Expanding the application of germinated wheat by examining the impact of varying alpha-amylase levels from grain to bread// Journal of Cereal Science.- 2024.- Vol.120: 104059. DOI 10.1016/j.jcs.2024.104059.

7. Romano A., Stevanato P. Germination data analysis by time-to-event approaches // Plants.- 2020. - Vol.9(5):617. DOI 10.3390/plants9050617.

8. Naumenko N., Potoroko I., Kalinina I., Fatkullin R., Ivanisova E. The influence of the use of whole grain flour from sprouted wheat grain on the rheological and microstructural properties of dough and bread //International Journal of Food Science.-2021.-Vol.2021(1):7548759. DOI 10.1155/2021/7548759.

9. Cao W., Petker K., Abdi R., Joye I.J. Exploring the role of the liquid phase in dough made with sprouted wheat wholemeal in bread production//Journal of Cereal Science.- 2023. -Vol.110:103641. DOI 10.1016/j.jcs.2023.103641.

10. Shajmerdenova D.A., Gorbatovskaja N.A., Iztaev A.I. Opredelenie perspektivnosti sortov mjagkoj pshenicy Kazahstana metodom mikroskopirovanija //Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tehnologij. - 2017.- T.79(3). -S.86-92. DOI 10.20914/2310-1202-2017-3-86-92. [In Russian]

11. Banu I., Patraşcu L., Vasilean I., Horincar G., Aprodu I. Impact of Germination and Fermentation on Rheological and Thermo-Mechanical Properties of Wheat and Triticale Flours //Applied Sciences. -2020.- Vol. 10(21):7635. DOI 10.3390/app10217635.

12. Ahmed W.E., Ragab I., Gadallah M.G.E., Alhomaid R.M., Almujaydil M.S. Effect of sprouting whole wheat grain on the sensory quality, physicochemical properties, and antioxidant activity of cupcakes // Applied Food Research. -2024. -Vol.4(1):100412. DOI 10.1016/j.afres.2024.100412.

13. Cardone G., D'Incecco P., Pagani M.A., Marti A. Sprouting improves the bread-making performance of whole wheat flour (Triticum aestivum L.) // Science of Food and Agriculture. - 2020. - Vol.100(6). -P.2453-2459. DOI 10.1002/jsfa.10264.

14. Zerno. Metody opredelenija kolichestva i kachestva klejkoviny v pshenice s ispol'zovaniem mehanizirovannyh sredstv / ST RK 1054-2002. URL: https://online.zakon.kz .- Date of access: 30.05.2025. [In Russian]

15. Zerno i zernoprodukty. Opredelenie chisla padenija (ISO 3093-2004, NEQ) / ST RK 1889-2009. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33276189. - Date of access: 30.05.2025. [In Russian]

16. Zerno i produkty ego pererabotki. Opredelenie vlazhnosti. Kontrol'nyj metod (ISO 712:2009) / ST RK ISO 712-2014. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=34061859. – Date of access: 30.05.2025. [In Russian]

17. Opredelenie osnovnyh pokazatelej kachestva zerna s pomoshh'ju infrakrasnyh analizatorov / ST RK 1564-2006. URL: https://online.zakon.kz .- Date of access: 30.05.2025. [In Russian]

18. Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredelenija krahmala / GOST 10845-98. URL: https://online.zakon.kz. - Date of access: 30.05.2025. [In Russian]

19. Zerno i produkty ego pererabotki. Metod opredelenija belka / GOST 10846-91. URL: https://online.zakon.kz. - Date of access: 30.05.2025. [In Russian]

20. Method for using the Chopin Alveograph/ICC Standard No.121/2.-1972. URL: https://icc.or.at. - Date of access: 30.05.2025.

21. Guo J., Wang F., Zhang Z., Wang D., Bao J. Characterization of gluten proteins in different parts of wheat grain and their effects on the textural quality of steamed bread // Journal of Cereal Science. -2021.- Vol.102:103368. DOI 10.1016/j.jcs.2021.103368.

22. Navarro J.L., Losano Richard P., Moiraghi M., Bustos M., León A.E., Steffolani M.E. Effect of different wheat sprouting conditions on the characteristics of whole-wheat flour // Food Technology and Biotechnology. -2024. -Vol.62(2).- P.264-274. DOI 10.17113/ftb.62.02.24.8435.

23. Badawy W. et al. Sprouted wheat flour for improving physical, chemical, rheological, microbial load, and quality properties of fino bread// Open Chemistry.-2024.-Vol.22(1):20240030. DOI 10.1515/chem-2024-0030.

24. Singh H., Singh N., Kaur L., Saxena S. (2001). Effect of sprouting conditions on functional and dynamic rheological properties of wheat. Journal of Food Engineering.- 2001. -Vol.47(1). -P.23-29. DOI 10.1016/S0260-8774(00)00094-7.

Information about the Authors

Ismagulova A.Zh.- Master’s student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Kazakhstan, e-mail: ismagul03@mail.ru;

Tarabaev 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;

Makhambetova A.A. -Researcher, Department of Scientific Research, Scientific-Production Enterprise “Innovator”, Astana, Kazakhstan, e-mail: 1957alyma@mail.ru;

Kim O.I. - Master’s student, S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kim_olyaaa@mail.ru.

Авторлар туралы мәліметтер

Исмагулова А.Ж.- С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің магистранты, Астана, Қазақстан, e-mail: ismagul03@mail.ru;

Тарабаев Б.К. - т.ғ.к., м.а. қауымдастырылған профессор, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: tarabaev50@mail.ru;

Шаймерденова Д.А. - т.ғ.к., ғылыми хатшы, Қазақ ауыл шаруашылығы өнімдерін өңдеу ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақста,, e-mail: darigash@mail.ru;

Махамбетова А.А. - ғылыми қызметкер, Ғылыми зерттеулер бөлімі, «Инноватор» ғылыми-өндірістік кәсіпорны, Астана, Қазақстан,e-mail: 1957alyma@mail.ru;

Ким О.И. С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университетінің магистранты, Астана, Қазақстан, e-mail: kim_olyaaa@mail.ru.

ҒТАМР 65.65.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1129**

ЕАЭО ЕЛДЕРІНІҢ АУМАҒЫНДА ӨНДІРІЛЕТІН ШИКІЗАТ НЕГІЗІНДЕ ӨСІМДІК МАЙЛАРЫНЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ҚОСПАЛАРЫН ӘЗІРЛЕУ

[1]А.Е. Отуншиева✉, [1]С.А. Бөлегенова, [2]С.С. Ветохин, [2]А.Н. Никитенко, [3]А.А. Ешанкулов

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]Беларусь мемлекеттік технологиялық университеті, Минск, Беларусь,
[3]М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Зерттеу университеті, Шымкент, Қазақстан,
✉Корреспондент-автор:03.08.1990.43@mail.ru

Мақалада Еуразиялық экономикалық одақ (ЕАЭО) елдерінде өндірілетін майлы дақылдар шикізаты негізінде өсімдік майларының инновациялық қоспаларын құрудың ғылыми-техникалық тәсілдері қарастырылған. Қоспалардың негізгі компоненттері ретінде күнбағыс және мақта (Қазақстан), арыш (Ресей) және зығырдан (Беларусь) алынған майларды пайдалану ұсынылады. Бұл майлар май қышқылдарының әртүрлі құрамымен, биологиялық белсенді компоненттерінің болуымен және технологиялық үйлесімділігімен ерекшеленеді. Майдың әрбір түрінің ерекшеліктері негізгі полиқанықпаған май қышқылдарының (омега-3, омега-6), токоферолдардың, фитостеролдардың және басқа да қоректік заттардың құрамы бойынша талданады. Май қышқылдарының теңгерімін оңтайландыру, органолептикалық қасиеттерін жақсарту, тотығуға төзімділігін арттыру және өнімдердің функционалдығын кеңейту мақсатында араластырудың орындылығы негізделінді. Қоспа компоненттерінің пропорцияларын таңдаудың технологиялық аспектілері қарастырыла отырып тағамдық құндылығы бойынша теңдестірілген, диеталық және профилактикалық тамақтануда қолдануға арналған ықтимал рецептердің мысалдары келтірілген.

Өсімдік майларын араластыру ауылшаруашылық шикізатын терең өңдеудің және ішкі және сыртқы нарықта бәсекеге қабілетті май және май өнімдерін қалыптастырудың тиімді жолы екендігі көрсетілген. ЕАЭО елдерінің шикізатын пайдалану аймақтық ынтымақтастықты дамытуға, импортты алмастыруға және ауыл шаруашылығы өнімдерінің қосылған құнын арттыруға ықпал етеді. Зерттеу нәтижелерін нормативтік-техникалық құжаттаманы әзірлеуде, жаңа рецептураларды құруда, сондай-ақ инновациялық май құрамдарын өнеркәсіптік енгізуде пайдалануға болады.

Түйін сөздер: қоспа, өсімдік майлары, күнбағыс майы, мақта майы, арыш майы, зығыр майы, ЕАЭО.

DEVELOPMENT OF INNOVATIVE BLENDS OF VEGETABLE OILS BASED ON RAW MATERIALS PRODUCED IN THE EAEU COUNTRIES

[1]A.E. Otunshiyeva✉, [1]S.A. Bolegenova, [2]S.S. Vetokhin, [2]A.N. Nikitenko, [3]A.A. Yeshankulov

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus,
[3]Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan,
e-mail: 03.08.1990.43@mail.ru

The article considers scientific and technical approaches to the creation of innovative blends of vegetable oils based on oilseed raw materials produced in the territory of the Eurasian Economic Union (EAEU) countries. As base components of blends it is proposed to use oils obtained from sunflower and cotton (Kazakhstan), ginger (Russia) and flax (Belarus). These oils are characterized by a variety of fatty acid composition, the presence of biologically active components and technological compatibility. The peculiarities of each type of oil in terms of the content of basic polyunsaturated fatty acids (omega-3, omega-6), tocopherols, phytosterols and other nutrients were analyzed. The expediency of blending for the purpose of optimizing the ratio of fatty acids, improving organoleptic properties, increasing resistance to oxidation and expanding the functionality of products is substantiated. Technological aspects of selection

of proportions of blending components are considered and examples of possible formulations balanced in nutritional value and intended for use in dietary and preventive nutrition are given.

It is shown that blending of vegetable oils is an effective way of deep processing of agrarian raw materials and formation of competitive oil and fat products in the domestic and foreign markets. The use of raw materials from the EAEU countries contributes to the development of regional cooperation, import substitution and increasing the added value of agricultural products. The results of the study can be used in the development of regulatory and technical documentation, creation of new formulations, as well as in the industrial implementation of innovative oil compositions.

Keywords: blending, vegetable oils, sunflower oil, cottonseed oil, lynx oil, linseed oil, EAEU.

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ КУПАЖЕЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ СЫРЬЯ, ВЫРАБАТЫВАЕМОГО НА ТЕРРИТОРИИ СТРАН ЕАЭС

[1]А.Е. Отуншиева✉, [1]С.А. Бөлегенова, [2]С.С. Ветохин, [2]А.Н. Никитенко, [3]А.А. Ешанкулов

[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2]Беларусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,
[3]Южно-Казахстанский исследовательский университет им. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
e-mail: 03.08.1990.43@mail.ru

В статье рассмотрены научно-технические подходы к созданию инновационных купажей растительных масел на основе масличного сырья, производимого на территории стран Евразийского экономического союза (ЕАЭС). В качестве базовых компонентов купажей предложено использовать масла, полученные из подсолнечника и хлопчатника (Казахстан), рыжика (Россия) и льна (Беларусь). Эти масла отличаются разнообразием жирнокислотного состава, наличием биологически активных компонентов и технологической совместимостью. Проанализированы особенности каждого вида масла с точки зрения содержания основных полиненасыщенных жирных кислот (омега-3, омега-6), токоферолов, фитостеринов и других нутриентов. Обоснована целесообразность купажирования с целью оптимизации соотношения жирных кислот, улучшения органолептических свойств, повышения устойчивости к окислению и расширения функциональности продукции. Рассмотрены технологические аспекты подбора пропорций компонентов купажа и приведены примеры возможных рецептур, сбалансированных по пищевой ценности и предназначенных для применения в диетическом и профилактическом питании.

Показано, что купажирование растительных масел является эффективным способом глубокой переработки аграрного сырья и формирования конкурентоспособной масложировой продукции на внутреннем и внешнем рынках. Использование сырья стран ЕАЭС способствует развитию региональной кооперации, импортозамещения и повышению добавленной стоимости сельхозпродукции. Результаты исследования могут быть использованы при разработке нормативной и технической документации, создании новых рецептур, а также при промышленном внедрении инновационных масляных композиций.

Ключевые слова: купаж, растительные масла, подсолнечное масло, хлопковое масло, рыжиковое масло, льняное масло, ЕАЭС.

Кіріспе. Қазіргі таңдағы азық-түлік өндірісі халықтың негізгі қажеттіліктерін қанағаттандыруға ғана емес, сонымен қатар созылмалы аурулардың алдын алуға және денсаулықты жақсартуға көмектесетін функционалды өнімдерді қалыптастыруға бағытталған. Тағамдық өсімдік майын тұтыну адам ағзасы үшін алмастырылмайтын май қышқылдары мен Е витаминінің маңызды көзі болып табылады [1]. Тағамдық өсімдік майын тұтыну адам үшін өте маңызды, өйткені ол адам ағзасына қажетті үш негізгі қоректік заттардың бірі болып табылатын май-

ларға бай, сонымен қатар адам денсаулығында өте маңызды рөл атқаратын басқа да әртүрлі қоректік заттармен қамтамасыз етеді [2]. Сонымен қатар, тағамдық өсімдік майын дұрыс тұтыну ел халқының өмір сүру деңгейінің маңызды көрсеткіші болып табылады [3].

Өсімдік майлары пайдалы май қышқылдарына бай бағалы өнімдер болып табылады. Дегенмен, әрбір майдың өзіндік бірегей құрамы бар және оңтайлы көрсеткіштерге жету үшін әртүрлі май түрлерін біріктіру қажет [4]. Майлар мен май өнімдері пісіру және қуыру үшін, сондай-ақ тағам рецептерінде қолданылады. Көпшілік өсімдік майларының өзіндік химиялық және физикалық қасиеттеріне байланысты өзінің бастапқы түрінде қолданылда технологиялық шектеулері бар. Өсімдік майларын коммерциялық пайдалануды жақсарту үшін көбінесе төрт түрлі әдісті қолданып түрлендіреді: гидрлеу, переэтерификациялау, фракциялау және араластыру [5]. Әртүрлі өсімдік майларын біріктіру арқылы май қышқылдарының оңтайлы құрамы бар қоспаны алуға болады, ол әрбір жекелеген майдың барлық артықшылықтарын біріктіреді [6]. Басым бағыттардың бірі полиқанықпаған май қышқылдарының (ПҚМҚ), ең алдымен омега-6 және омега-3 құрамы бойынша теңдестірілген май қышқылдарының берілген профилі бар өсімдік майларының инновациялық қоспаларын жасау болып табылады.

Өсімдік майлары – майдың түріне қарай әртүрлі май қышқылдарының, каротиноидтардың, фосфолипидтердің және табиғи антиоксиданттардың күрделі қоспалары болып табылады [7]. Аталынған заттардың барлығы физиологиялық белсенді. Бұл өнімдердің май құрамы бойынша құндылығын май қышқылдарының, әсіресе қанықпаған түрінің құрамын оңтайландыру арқылы арттыруға болады [8]. Олар адам мен жануарлар организмінде маңызды рөл атқарады, өйткені олар биологиялық мембраналардың бөлігі болып табылады [9]. Сонымен қатар, қан қысымын қалыпқа келтірудегі полиқанықпаған май қышқылдарының тұрақтандырушы рөлі және тромбоциттердің қайта топтасу қабілеті жақсы белгілі [10]. Қанықпаған майлар сонымен қатар көптеген энергия мен В витаминінің алмасу процестеріне қатысады. Сондай-ақ, олар тотығуға және кейіннен артық холестеринді жоюға тікелей ықпал етеді, осылайша қан тамырлары қабырғаларының жағдайын тұрақтандырады [11]. Полиқанықпаған қышқылдар иммундық реттегіштер ретінде де белгілі. Олар гуморальды иммунитет факторлары бола алатын кейбір қосылыстардың синтезіне қатысу арқылы қорғаныс механизмдерін күшейтуге көмектеседі [12].

ПҚМҚ жасушалардың өсуі, терінің қалыпты күйі, холестерин алмасуы, қабыну процестерінің дамуын болдырмау және т.б. үшін қажет. Полиқанықпаған май қышқылдары ағзада көптеген әртүрлі функцияларды орындайды. Олар ішкі ағзаларды жабатын және қорғайтын майды қалыптастыру үшін қолданылады. Май қышқылдары ыдырағанда энергия бөледі. Көптеген өмірлік маңызды функцияларды бақылау үшін организм май қышқылдарынан арнайы қосылыстарды синтездейді [13, 14].

Заманауи адамның диетасы омега-6 және омега-3 қышқылдары арасындағы айтарлықтай теңгерімсіздік 20:1-ге дейін сипатталатыны ғылыми түрде анықталған, ал Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымы жүрек-қан тамырлары және қабыну ауруларының алдын алу үшін бұл арақатынасты 4-5:1 шегінде сақтауды ұсынады. Бұл арақатынасты оңтайландыру май қышқылдарының әртүрлі құрылымдары бар майларды ұтымды араластыру арқылы мүмкін болады.

Еуразиялық экономикалық одақ (ЕАЭО) майлы дақылдардың кең ассортиментіне ие: Қазақстанда күнбағыс пен мақта, Ресейде арыш, Беларусьте зығыр белсенді өсіріледі. Бұл дақылдардан алынған майлар биохимиялық құрамы бойынша ерекшелене отырып, оларды қоспаларда қосымша пайдалану үшін қажеттілігін арттырады.

Бұл жұмыстың мақсаты болып ЕАЭО елдерінде өндірілген шикізатты пайдалана отырып, ұсынылған мәндерге (10:1 және 5:1) жақын омега-6: омега-3 қатынасы бар өсімдік майы қоспаларының рецептураларын әзірлеу табылады. Жұмыста пайдаланылған майлардың май қышқылдарының құрамы зерттеледі және ПҚМҚ балан-

сының математикалық моделі негізінде есептелген формулалар ұсынылады. Майды араластыру май және тоң май өнімдерінің қоректік құндылығын арттырудың ғылыми негізделген және технологиялық жүзеге асырылатын тәсілі екені көрсетілген.

Материалдар мен әдістер. Инновациялық майларды жасау саласындағы халықаралық тенденцияларды талдау өсімдік шикізатының әртүрлі түрлерінен көптеген пайдалы органикалық майларды біріктіретін қоспаларды әзірлеу келешектілігін көрсетті. Беларусь Республикасында, Қазақстанда және Ресей Федерациясында құрамында полиқанықпаған май қышқылдары (ПҚМҚ) омега-3, омега-6 және омега-9 бай майлардың келесі түрлері кеңінен өсіріледі: зығыр, мақта, күнбағыс, арыш. Бұл қышқылдар адам денсаулығы үшін өте маңызды және олардың кейбіреулері жүрек-қан тамырлары, қабыну және басқа да бірқатар аурулардың алдын алу және емдеуде пайдалы әсер ететіні белгілі.

Зығыр майы омега-3 май қышқылдарына бай, олар көптеген денсаулыққа пайдалы, соның ішінде қабынуды азайтады және жүрек денсаулығын жақсартады. Тұтынушылар денсаулығына көбірек көңіл бөліп, салауатты тамақтану мен жалпы әл-ауқатын жақсарту жолдарын іздеген сайын, зығыр майына сұраныс артады деп күтілуде. Сонымен қатар, зығыр майының әмбебаптығы оны байытылған шырындар мен тағамдық батондар сияқты функционалды тағамдарда пайдалану үшін танымал таңдау ретінде қарастырады.

Мақта майының жаһандық нарығының 2030 жылға қарай оның азық-түлікте де, басқа салаларда да кеңеюіне байланысты айтарлықтай өсетіндігі күтілуде. Ірі сауда компаниялары мақта майы өнімдерінің кең қолжетімділігін қамтамасыз ете отырып, дистрибьюторлық желілерді жетілдіру арқылы өз дамуын жеделдете түсуде. Бұл оң болжам мақта майының әртүрлі салада қолдану үшін қолайлы әмбебаптығына байланысты. Осылайша, мақта тұқымынан алынған мақта майы ашық сары реңкті және нәзік дәмі бар әмбебап өсімдік майы болып табылады. Ол тамақ өнеркәсібінде кеңінен қолданылады, онда ол көптеген тамақ өнімдерінің негізгі ингредиенті болып табылады, соның ішінде ас майлары, маргарин, салат таңғыштары. Тамақ өнеркәсібінен басқа, мақта майы сабын, косметика және жеке күтім өнімдерін өндіруде маңызды рөл атқарады. Оның тартымдылығы пайдалы моноқанықпаған май қышқылдарының жоғары концентрациясында және қаныққан май қышқылдарының төмен деңгейінде жатыр. Сонымен қатар, бұл май бояулар, лактар, кептіру майлары және эмальдар өндірісінде қолданылады, бұл оның әртүрлі салалардағы әртүрлі пайдалылығын көрсетеді. Мақта майы нарығы салауатты тамақтануға байланысты артып келе жатқан назарға негізделген. Тұтынушылар қолайлы қоректік профилі бар майларды іздейді, ал мақта майы қаныққан майдың төмен мөлшерімен және бір қанықпаған майдың жоғары деңгейімен сәйкес келеді. Бұл фактор өсімге түрткі болып отыр. Өсімдік тектес маңызды ПҚМҚ болып табылатын линол және линолен қышқылдары адам ағзасында өндірілмейді және олардың болмауы денсаулыққа теріс әсер етуі мүмкін [15].

Сондықтан салауатты тамақтану талаптарына сәйкес келетін құрамы мен қасиеттері көрсетілген майлы өнімдерді алу маңызды.

Қоспалар жасау үшін өсімдік майларын таңдаған кезде май қышқылдарының құрамы, олардың қолжетімділігі мен құны ескеріледі.

Зерттеу үшін шикізат ретінде ЕАЭО елдерінде өндірілген тазартылған дезодорацияланған өсімдік майлары 1 - суретте келтірілген, сондай-ақ олардың қоспалары пайдаланылды: күнбағыс майы (Қазақстан), мақта майы (Қазақстан), арыш майы (Ресей), зығыр майы (Беларусь).

Өсімдік майларының қоспаларын салқын сығымдау, сілтілермен тазарту және адсорбентермен ағарту арқылы алынған тазартылмаған майлардан алуға болады. Араластыру биологиялық белсенді заттар мен дәрумендердің мөлшері жоғары өсімдік майларын алуға мүмкіндік береді [15,16].

Сондай-ақ, өсімдік майларын араластыру тазартылған және дезодорацияланған майдан жасалуы мүмкін. Белгілі болғандай, ең пайда-

лы қасиеттер әдетте салқын сығымдау арқылы алынған өсімдік майларында сақталады, алайда мұндай майлар тікелей тұтынуға жарамайды. Мұндай майларға мақта, күнбағыс, зығыр, т.б жатады [15].



1 - сурет. Өсімдік майлары мен қоспаларының үлгілері

1 - кесте. Өсімдік майларының май қышқылдық құрамы

Май қышқылдарының құрамы	Зығыр	Арыш	Мақта	Күнбағыс
$C_{16:0}$ Пальмитин	5,4	5,3	14,5	6,6
$C_{18:0}$ Стеарин	3,7	2,5	0,3	3,6
$C_{18:1}$ Олеин	20,1	18,8	19	17
$C_{18:2}$ Линол	16	20	**63,1**	**70,8**
$C_{18:3\alpha}$ Линолен	**52,8**	**45,6**	0,3	0,6

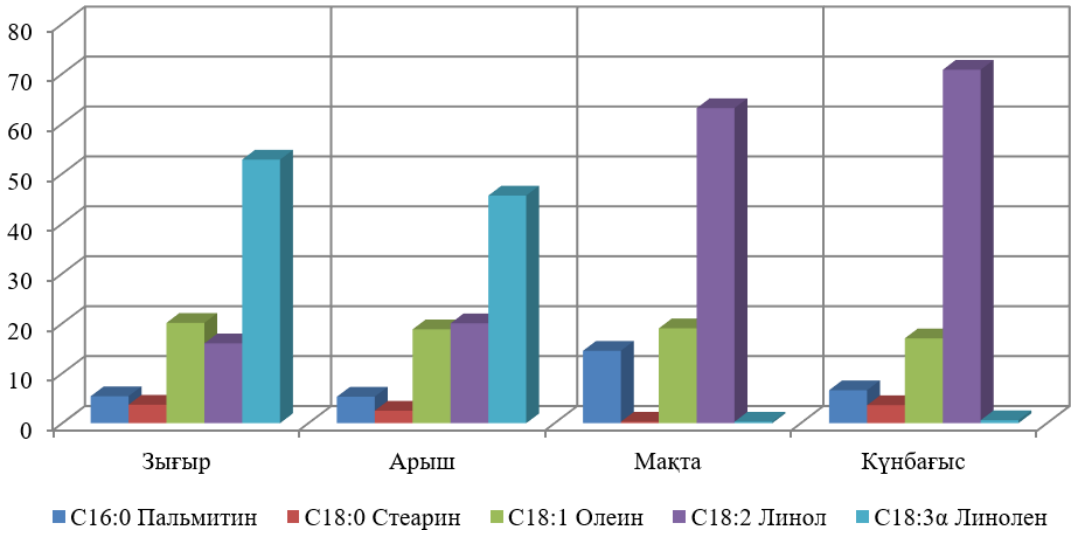
Өсімдік майларының қоспаларын жасау кезінде олардағы май қышқылдарының құрамын ескеру қажет. Бұл фактордың маңыздылығы оның өнімдердің дәмі мен тағамдық қасиеттеріне әсер етуіне байланысты. Сондықтан қоспадағы май қышқылдарының оңтайлы арақатынасын қамтамасыз ету үшін әрбір майдың құрамы туралы егжей-тегжейлі деректер болуы қажет, бұл оны жасау кезінде негізделген шешім қабылдауға мүмкіндік береді [4].

Өсімдік майлары мен олардың негізіндегі қоспалардағы полиқанықпаған май қышқылдарының (ПҚМҚ) мөлшері газ-сұйықтық хроматографиясы (ГСХ) әдісімен анықталды. Әдіс цианопропилфенилполисилоксан фазасымен қапталған ұзындығы 100 м, диаметрі 0,25 мм капиллярлық кварц бағанасы бар ПИД детекторлы «Хроматэк Кристалл 5000» газ хроматографы арқылы жүзеге асырылды. Тасымалдаушы газ азот болды, айдалған үлгінің көлемі 1 мкл. Анықтау шарттары: баған термостатының бастапқы температурасы 4 минут бойы 140°С болды, содан кейін температураның 180°С (3 °С/мин) дейін бағдарламаланған жоғарылауы, изотермиялық режим 40 мин. Содан кейін температураны 240°С (3 °С/мин) дейін бағдарламаланған арттыру және 25 минут бойы изотермиялық режим.

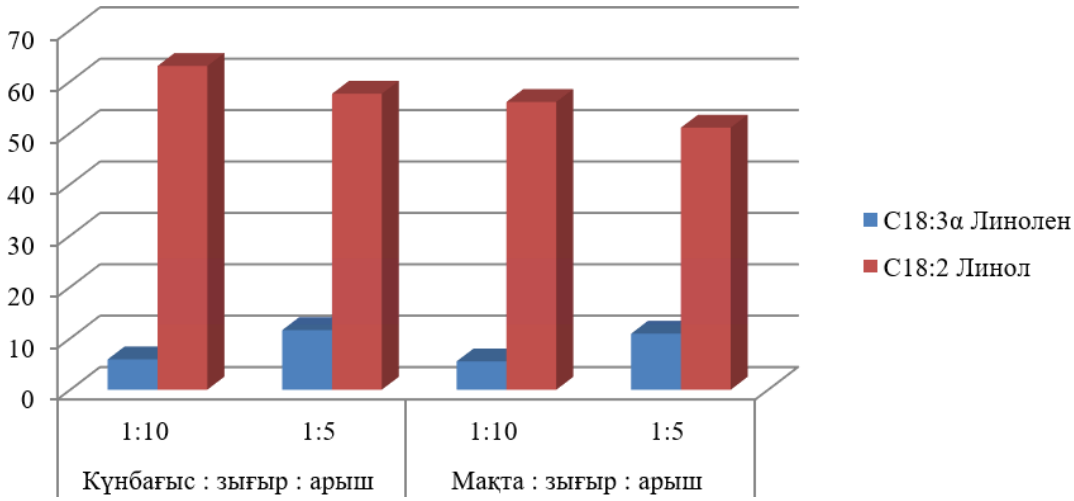
Нәтижелер және талқылау. Өсімдік майла-

рының май қышқылдық құрамын зерттеу нәтижелері 1 - кестеде келтірілген.

Ұсынылған мәліметтерге сүйене отырып, майлардағы май қышқылдарының құрамы негізінен пальмитин, стеарин, олеин және линол қышқылдарының болуымен анықталады деген қорытынды жасауға болады. Май қышқылдарының құрамын газ хроматографиялық сынаулары (2-сурет) зығыр және арыш майы ең үлкен биологиялық құндылығымен сипатталатынын көрсетті (α-линолен қышқылының мөлшері сәйкесінше 53% және 35%). ЕАЭО кең көлемде өндірілетін өсімдік майлары (күнбағыс, мақта) омега-3 және омега-6 май қышқылдарының оңтайлы теңгерімі 1:5-тен 1:10-ға дейінгі құрамы бойынша ұсыныстарға сәйкес келмеді.



2 - сурет. Өсімдік майларының май қышқылдық құрамы, %



3 - сурет. Өсімдік майы қоспаларының май қышқылдық құрамы, %

Заманауи тамақ өнеркәсібінің тәжірибесінде тамақ өнімдерінің балғындығын ұзартуға және тағамдық құндылығын сақтауға мүмкіндік беретін әдістер белсенді түрде дамып келеді. Антиоксиданттарды қолдануға ерекше назар аударылады, өйткені ол заттар майлардың тотығуын тиімді болдырмайды, бұл тағамның сапасын сақтау үшін маңызды. Көптеген адамдардың

рационында майдың негізгі көзі болып табылатын өсімдік майларының салауатты тамақтануды сақтауда және ағзаны маңызды қоректік заттармен қамтамасыз етудегі рөлін ерекше атап өткен жөн [17].

Әрі қарай, теңдестірілген тамақтану, омега-3 және омега-6 май қышқылдарын тұтыну талаптарын қанағаттандыратын өсімдік майларының қоспаларын жасау үшін есептеулер жүргізілді. Алынған қоспаларды сынау нәтижелері 3 - суретте көрсетілген.

Сонымен, алынған мәліметтерге сүйене отырып, күнбағыс негізіндегі өсімдік майларының әзірленген қоспаларының май қышқылдық құрамы: зығыр: арыш майы және мақта: зығыр: арыш майы 1:5-тен 1:10-ға дейінгі белгілі оңтайлы ω-3: ω-6 арақатынастарына сәйкес келді [18]. Алынған өсімдік майларының қоспаларының сапа көрсеткіштері өнімнің сапасы мен қауіпсіздігі саласындағы КО ТР 024/2011 талаптарына сәйкес болды.

Май қышқылдарының құрамын талдау қоспалардың оңтайлы пропорциялары ДДҰ ұсынымдарына сәйкес келетін омега-6 мен омега-3-тің теңдестірілген арақатынасына қол жеткізуге мүмкіндік беретінін көрсетті. Ыстыққа төзімді майларды (күнбағыс, мақта) жеңіл тотықтыратын, бірақ биологиялық құнды (зығыр, арыш) біріктіруі өнімнің функционалдық және технологиялық тұрақтылығын қамтамасыз етеді.

Қорытынды. Қорытындылай келе, ЕАЭО елдерінде өсірілген майлы дақылдар негізінде инновациялық қоспаларды әзірлеу Қазақстан Республикасында өндірілетін мақта және күнбағыс, Беларусь Республикасында өндірілетін зығыр және Ресей Федерациясының аумағында өсетін арыш майлы дақылдардан алынатын өсімдік майларының құрамы зерттелді. Триглицеридтердің май қышқылдық құрамын талдау нәтижесінде өсімдік майларында ω-3 және ω-6 май қышқылдарының қажетті арақатынасы қамтамасыз етілмейтіні анықталды, бұл өз кезегінде өсімдік майларының арнайы қоспаларын жасаудың қажеттілігін туындатады.

Қоспаларды алу үшін шикізат ретінде күнбағыс, мақта және зығыр, арыш майы сияқты майлар ұсынылады. Қазақстандық күнбағыс пен мақта майы, ресейлік арыш майы және беларусь зығыр майы бір-бірін толықтыратын қасиеттерге ие, бұл оларды инновациялық май композицияларының тамаша құрамдастарына айналдырады. Сызықтық бағдарламалау әдісіне сүйене отырып, инновациялық қоспаларды әзірлеу кезінде пайдалануға болатын екі түрлі қоспа, яғни күнбағыс:зығыр:арыш, мақта:зығыр:арыш композицияларын ұсынылды. Әзірленген үш май негізінде әзірлегенген инновациялық екі түрлі қоспалардың композицияларына әртүрлі пропорциядағы мақта мен арыш майы кіреді. Қоспаларды әзірлеу сапа, қауіпсіздік және тағамдық құндылық бойынша қазіргі заманғы тұтынушылар талаптарына жауап беретін функционалды өнімдерді жасауға мүмкіндік береді. Әзірленген инновациялық қоспалар органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштері бойынша белгіленген талаптарға толық сәйкес келеді. Өсімдік майларының ұсынылған қоспаларындағы май қышқылдарының құрамын зерттеу нәтижесінде адам ағзасына теңгерімді тамақтануды қамтамасыз ету үшін қажетті ω-3 және ω-6 полиқанықпаған май қышқылдарының оңтайлы арақатынасына қол жеткізілгені анықталды. Бұл қышқылдар адам ағзасында өздігінен синтезделмейді, сондықтан оларды тағам арқылы қабылдау қажет. Өсімдік майларының негізінде әзірленген инновациялық қоспалар тамақ өнеркәсібінде, сондай ақ түрлі аурудың алдын алуда (ми мен жүйке жүйесінің пайдалы жұмысына, жүрек-қан тамырларының дұрыс жұмыс жасауына, қабынуға қарсы әсер етуде, көру қабілетін жақсартуда, жүктілік пен баланың дұрыс дамуына, зат алмасу процестерінде) немесе парфюмерия және косметика өндірісінде, фармацевтикалық және жем өнімдерінде кеңінен қолданылады.

Әдебиеттер

1. Tang S, Wang P, Xing H, Huang Z, Liu P, Li T, Huang J. Consumer Preferences and Willingness to

Pay for High-Quality Vegetable Oils: A Cross-Sectional Analysis of Chinese Residents // Foods. -2024. -Vol.13 (8):1168. DOI 10.3390/foods13081168.

2. Garcia-Aloy M., Hulshof P.J.M., Estruel-Amades S., Osté M.C.J., Lankinen M., Geleijnse J.M., de Goede J., Ulaszewska M., Mattivi F., Bakker S.J.L., et al. Biomarkers of food intake for nuts and vegetable oils: An extensive literature search//Genes Nutr.-2019.-Vol.14(7). DOI 10.1186/s12263-019-0628-8.

3. Sabikhi L, Sathish Kumar M.H. Fatty Acid Profile of Unconventional Oilseeds // Advances in Food and Nutrition Research. - 2012. -Vol.67. - P.141-184. DOI 10.1016/B978-0-12-394598-3.00004-6.

4. Тарасова В. В., Ибрагимов Т. М. Технология купажирования растительных масел на основе масла ши для производства продуктов питания из растительного сырья // Молодой ученый.- 2024. - № 9 (508). - С.111-116.

5. Hashempour-Baltork F., Torbati M., Azadmard-Damirchi S., Vegetable G.S. Oil Blending: A Review of Physicochemical, Nutritional and Health Effects // Trends in Food Science & Technology. - 2016. - Vol.57 (Part A). -P.52-58. DOI 10.1016/j.tifs.2016.09.007.

6. Степычева Н.В., Фудько А.А. Купажированные растительные масла с оптимизированным жирно-кислотным составом // Химия растительного сырья. - 2011.- №2. - С.27-33.

7. Haque F., Bubli S.Y., Khan M.S. UV-Vis Spectroscopy for Food Analysis // Techniques to measure food safety and quality. First ed. - 2021. - P. 169-193. DOI 10.1007/978-3-030-68636-9_8.

8. Power A.C., Chapman J., Chandra S., Cozzolino D. Ultraviolet-visible spectroscopy for food quality analysis // Evaluation technologies for food quality. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. - 2019. - P.91-104. DOI 10.1016/B978-0-12-814217-2.00006-8.

9. Altunay N., Gürkan R. A new simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of sulfite species in vegetables and dried fruits using a preconcentration process // Analytical Methods. - 2015. - Vol. 8(2). -P.342–352. DOI 10.1039/C5AY02710A.

10. Wang L., Sun D.W., Pu H., Cheng J.H. Quality analysis, classification, and authentication of liquid foods by near-infrared spectroscopy: A review of recent research developments // Critical Reviews in Food Science and Nutrition.-2017.-Vol.57(7).-P.1524-1538. DOI 10.1080/10408398.2015.1115954.

11. Rohman A., Ghazali M.A.I.B., Windarsih A., Riyanto S., Yusof F.M., Mustafa S. Comprehensive review on application of FTIR spectroscopy coupled with chemometrics for authentication analysis of fats and oils in the food products//Molecules.-2020.-Vol.-25(22):5485. DOI 10.3390/molecules25225485.

12. Rohman A., Kuwat T., Retno S., Yuny E., Tridjoko W. Fourier Transform Infrared Spectroscopy applied for rapid analysis of lard in palm oil // International Food Research Journal.- 2012. -Vol.19(3). -P.1161–1165.

13. Бирбасова, А.В. Теоретическое и экспериментальное обоснование рецептур купажированных масел функционального назначения / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Краснодар - 2016. -83 с.

14 Кулакова С.Н., Викторова Е.В. Растительные масла нового поколения и их роль в питании // Масла и жиры. -2006. - № 9(67). -С.1-5.

15. Адашев Б.Ш., Салиханова Д.С., Исмоилова М.А. Улучшение биологических свойств растительных масел купажированием // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. - 2023. - № 4(106). DOI - 10.32743/UniChem.2023.106.4.15218.

16. Нефедов Ю.В. Управление качеством /Московский финансово-промышленный университет «Синергия». -2005. -212 с.

17. Обухова Л.А., Гарагуля Е.Б. Растительные масла в питании. Сравнительный анализ.»Здоровое

питание.Растительные масла» // [Элекронный ресурс].-URL https://argo-tema.ru/article-9182.html.- Дата обращения 23.05.2025

18. Никитенко А.Н., Ламоткин С.А., Леснева М.И., Стрибуть А.В., Мартинчик В.О., Ильина Г.Н. Исследование влияния термообработки на окислительную устойчивость купажей растительных масел в различных средах// Труды БГТУ. -2019 - Серия 2. - № 1 (217). - С.54-61.

References

1. Tang S, Wang P, Xing H, Huang Z, Liu P, Li T, Huang J. Consumer Preferences and Willingness to Pay for High-Quality Vegetable Oils: A Cross-Sectional Analysis of Chinese Residents // Foods. -2024. -Vol.13 (8):1168. DOI 10.3390/foods13081168.

2. Garcia-Aloy M., Hulshof P.J.M., Estruel-Amades S., Osté M.C.J., Lankinen M., Geleijnse J.M., de Goede J., Ulaszewska M., Mattivi F., Bakker S.J.L., et al. Biomarkers of food intake for nuts and vegetable oils: An extensive literature search//Genes Nutr.-2019.-Vol.14(7). DOI 10.1186/s12263-019-0628-8.

3. Sabikhi L, Sathish Kumar M.H. Fatty Acid Profile of Unconventional Oilseeds // Advances in Food and Nutrition Research. - 2012. -Vol.67. - P.141-184. DOI 10.1016/B978-0-12-394598-3.00004-6.

4. Tarasova V. V., Ibragimov T. M. Tehnologija kupazhirovanija rastitel’ nyh masel na osnove masla shi dlja proizvodstva produktov pitanija iz rastitel’ nogo syr’ ja // Molodoj uchenyj.- 2024. - № 9 (508). - S. 111-116. [in Russian]

5. Hashempour-Baltork F., Torbati M., Azadmard-Damirchi S., Vegetable G.S. Oil Blending: A Review of Physicochemical, Nutritional and Health Effects // Trends in Food Science & Technology. - 2016. -Vol.57 (Part A). -P.52-58. DOI 10.1016/j.tifs.2016.09.007.

6. Stepycheva N.V., Fud’ ko A.A. Kupazhirovannye rastitel’ nye masla s optimizirovannym zhirno-kislotnym sostavom // Himija rastitel’ nogo syr’ ja. - 2011.- №2. - S.27-33. [in Russian]

7. Haque F., Bubli S.Y., Khan M.S. UV-Vis Spectroscopy for Food Analysis // Techniques to measure food safety and quality. First ed. - 2021. - P. 169-193. DOI 10.1007/978-3-030-68636-9_8.

8. Power A.C., Chapman J., Chandra S., Cozzolino D. Ultraviolet-visible spectroscopy for food quality analysis // Evaluation technologies for food quality. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. - 2019. - P.91-104. DOI 10.1016/B978-0-12-814217-2.00006-8.

9. Altunay N., Gürkan R. A new simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of sulfite species in vegetables and dried fruits using a preconcentration process // Analytical Methods. - 2015. -Vol. 8(2). -P.342–352. DOI 10.1039/C5AY02710A.

10. Wang L., Sun D.W., Pu H., Cheng J.H. Quality analysis, classification, and authentication of liquid foods by near-infrared spectroscopy: A review of recent research developments // Critical Reviews in Food Science and Nutrition.-2017.-Vol.57(7).-P.1524-1538. DOI 10.1080/10408398.2015.1115954.

11. Rohman A., Ghazali M.A.I.B., Windarsih A., Riyanto S., Yusof F.M., Mustafa S. Comprehensive review on application of FTIR spectroscopy coupled with chemometrics for authentication analysis of fats and oils in the food products//Molecules.-2020.-Vol.-25(22):5485. DOI 10.3390/molecules25225485.

12. Rohman A., Kuwat T., Retno S., Yuny E., Tridjoko W. Fourier Transform Infrared Spectroscopy applied for rapid analysis of lard in palm oil // International Food Research Journal.- 2012. -Vol.19(3). -P.1161–1165.

13. Birbasova, A.V. Teoreticheskoe i jeksperimental’ noe obosnovanie receptur kupazhirovannyh masel funkcional’ nogo naznachenija / Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehnicheskih nauk. Krasnodar - 2016. -83 s. [in Russian]

14 Kulakova S.N., Viktorova E.V. Rastitel’ nye masla novogo pokolenija i ih rol’ v pitanii // Masla i zhiry. -2006. - № 9(67). -S.1-5. [in Russian]

15. Adashev B.Sh., Salihanova D.S., Ismoilova M.A. Uluchshenie biologicheskih svojstv rastitel’ nyh masel kupazhirovaniem // Universum: himija i biologija: jelektron. nauchn. zhurn. - 2023. - № 4(106). DOI - 10.32743/UniChem.2023.106.4.15218. [in Russian]

16. Nefedov Ju.V. Upravlenie kachestvom /Moskovskij finansovo-promyshlennyj universitet «Sinergija». -2005. -212 s. [in Russian]

17. Obuhova L.A., Garagulja E.B. Rastitel’ nye masla v pitanii. Sravnitel’ nyj analiz.»Zdorovoe pitanie. Rastitel’ nye masla» // [Jelekronnyj resurs].-URL https://argo-tema.ru/article-9182.html.- Data obrashhenija 23.05.2025. [in Russian]

18. Nikitenko A.N., Lamotkin S.A., Lesneva M.I., Stribut’ A.V., Martinchik V.O., Il’ ina G.N. Issledovanie vlijanija termoobrabotki na okislitel’ nuju ustojchivost’ kupazhej rastitel’ nyh masel v razlichnyh sredah// Trudy BGTU. -2019 - Serija 2. - № 1 (217). - C.54-61. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Отуншиева А. Е.- докторант, Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: 03.08.1990.43@mail.ru;

Болегенова С.А.- ф.-м.ғ.д., профессор,[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: saltanat.bolegenova@kaznu.kz;

Ветохин С.С.- ф.-м.ғ.к., профессор, Беларусь мемлекеттік технологиялық университеті,Минск, Беларусь Республикасы, e-mail: serega49@mail.ru;

Никитенко А.Н. - т.ғ.к., доценті, Беларусь мемлекеттік технологиялық университет, Минск, Беларусь Республикасы, e-mail: nikitenkoan@belstu.by;

Ешанкулов А.А. - т.ғ.к., доценті, М.Ауезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Зерттеу Университеті, Шымкент, Қазақстан,e -mail: amirkhan-74@mail.ru.

Information about authors

Otunshiyeva A.E. - Doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: 03.08.1990.43@mail.ru;

Bolegenova S.A. - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: saltanat.bolegenova@kaznu.kz;

Vetokhin S.S.- Candidate of Physical and Chemical Sciences, Professor, Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus,e-mail: serega49@mail.ru;

Nikitenko A.N.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus,-mail: nikitenkoan@belstu.by;

Amirkhan A.E.-Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan. e-mail: amirkhan-74@mail.ru.

МРНТИ 65.09.05 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1160**

ЖЕМІС-ЖИДЕК ДАҚЫЛДАРЫНАН АЛЫНҒАН ҚҰРҒАҚ ҰНТАҚТАРДЫҢ МИКРОБИЛОГИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Ш. Серикова, А.Ж. Хастаева✉, А.М. Омаралиева, А.А. Бектурганова, М.Т. Агедилова, Ж.Т. Ботбаева, А.М. Рахимжанова

Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан
✉Корреспондент-автор: gera_or@mail.ru

Бұл мақалада жеміс-жидек шикізаты негізінде алынған құрғақ ұнтақтардың микробиологиялық сапасы зерттелді. Бұл зерттеу жұмысы тағамдық қоспалардың микробиологиялық қауіпсіздігін бағалауға бағытталған. Жеміс ұнтақтары – тағам өнімдерінің құрамында табиғи биологиялық белсенді заттар көзі ретінде қолданылатын маңызды компоненттердің бірі. Алайда олардың микробиологиялық қауіпсіздігі – өндірісте пайдалану үшін басты талаптардың бірі. Зерттеу барысында алма (сорттары: «Превосход», «Лимонка»), қызыл және қара қарақаттан алынған ұнтақтардың микробиологиялық көрсеткіштері бағаланды. Микробиологиялық талдауда Compact Dry тест-жүйесі пайдаланылды. Бұл әдіс ішек таяқшасы тобы бактерияларын (E. coli), жалпы колиформдарды, сальмонеллаларды, ашытқылар мен зеңдерді анықтауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижелері бойынша барлық үлгілерден қауіпті патогенді микроорганизмдер анықталған жоқ. Ал ашытқылар мен зеңдердің мөлшері рұқсат етілген деңгейден аспайтыны анықталды. Compact Dry жүйесі экспресс-анализ жүргізуге қолайлы. және нақты нәтижелер береді. Алынған мәліметтер ұнтақтарды (өсімдік тектес) тағам өндірісінде қауіпсіз қолдануға болатынын дәлелдейді.

Түйін сөздер: жеміс ұнтақтары, микробиологиялық талдау, патогенді микроорганизмдер, Compact Dry тест-жүйесі, тағам қауіпсіздігі, ішек тобы бактериялары, ашытқы және зеңдер.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА СУХИХ ПОРОШКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПЛОДОВО-ЯГОДНОГО СЫРЬЯ

Ш. Серикова, А.Ж. Хастаева✉, А.М. Омаралиева, А.А. Бектурганова, М.Т. Агедилова, Ж.Т. Ботбаева, А.М. Рахимжанова

Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан
e-mail: gera_or@mail.ru

В данной статье рассмотрено микробиологическое качество сухих порошков, полученных на основе плодово-ягодного сырья. Порошки из фруктов представляют собой важный компонент в составе пищевых продуктов, выступая в качестве источника природных биологически активных веществ. Однако одним из ключевых требований к их применению в пищевой промышленности является микробиологическая безопасность. В ходе исследования были проанализированы микробиологические показатели порошков из яблок (сорта: «Превосход», «Лимонка»), а также красной и черной смородины. Для микробиологического анализа использовалась тест-система Compact Dry. Этот метод позволяет определять наличие бактерий группы кишечной палочки (E. coli), общих колиформ, сальмонелл, дрожжей и плесеней. По результатам исследований, опасные патогенные микроорганизмы в образцах не выявлены. Количество дрожжей и плесеней не превышает допустимые нормы. Система Compact Dry показала эффективность в проведении экспресс-анализа и достоверность получаемых данных. Полученные результаты подтверждают возможность безопасного использования растительных порошков в пищевой промышленности.

Ключевые слова: фруктовые порошки, микробиологический анализ, патогенные микроорганизмы, тест-система Compact Dry, пищевая безопасность, бактерии группы кишечной палочки, дрожжи и плесени.

MICROBIOLOGICAL QUALITY ASSESSMENT OF DRY POWDERS MADE FROM FRUIT AND BERRY CROPS

Sh. Serikova, A.Zh. Khastayeva✉, A.M. Omaraliyeva, A.A. Bekturganova, M.T. Agedilova, Zh.T. Botbayeva, A.M. Rakhimzhanova

K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: gera_or@mail.ru

This article investigates the microbiological quality of dry powders obtained from fruit and berry raw materials. Fruit powders are an important component in food products, serving as a source of natural biologically active substances. However, microbiological safety is one of the key requirements for their use in food production. The study assessed the microbiological parameters of powders made from apples (varieties: “Prevoskhodnoe,” “Limonka”) and red and black currants. The microbiological analysis was performed using the Compact Dry test system, which allows for the detection of bacteria from the E. coli group, total coliforms, salmonella, yeasts, and molds. The results showed that no dangerous pathogenic microorganisms were detected in any of the samples. The levels of yeasts and molds were found to be within the permissible limits. The Compact Dry system proved effective for conducting express analysis and providing accurate results. These findings confirm the safe use of plant-based powders in food production.

Keywords: fruit powders, microbiological analysis, pathogenic microorganisms, Compact Dry test system, food safety, E. coli group bacteria, yeasts and molds.

Кіріспе. Табиғилық пен сапаға деген ұмтылыс барған сайын өзекті бола бастаған және үнемі жаңа өнімдерді ұсыну қажеттілігі туындайтын әлемде тұтынушылар үшін анағұрлым шынайы және пайдалы өнімдерді әзірлеу үрдісі дамуда. Бұл тенденция нарық көрсеткіштері арқылы Hexaresearch [1] байқалады, яғни 2017 жылы жеміс ұнтағының жаһандық нарығының көлемі 13,52 миллиард АҚШ долларын құрады деп есептейді және Mordor Intelligence [2] мәліметтері бойынша оның 2019 және жылдан 2025 жылға дейін орташа жылдық мөлшері 7,4% өседі деп күтілуде.

Жеміс-жидек ұнтақтарын тағам технологияларында пайдалану – қазіргі тағамтану ғылымының талаптарына сай келетін, жоғары сапалы және бәсекеге қабілетті тағам өнімдерін өндірудің маңызды алғышарты болып табылады. Бұл ұнтақтар тағам өнімдерінің биологиялық құндылығын арттырып, олардың органолептикалық көрсеткіштерін жақсартады және сақтау мерзімін ұзартуға мүмкіндік береді. Жеміс-жидек ұнтақтары әсіресе наубайхана және кондитерлік өнімдер, сүт және ет өнімдері, сондайақ түрлі функционалдық сусындар өндірісінде кеңінен қолданылады [3].

Ұнтақ түріндегі өнімдердің басты артықшылығы – су белсенділігінің төмендігі, бұл микроорганизмдердің өсуіне қолайсыз орта туғызып, сақтау мерзімін арттырады. Алайда, бастапқы шикізаттағы микробиологиялық контаминация өнім сапасына әсер етуі мүмкін.

Әдетте, микроорганизмдер өсе алатын судың минималды белсенділігі (aw) 0,60 құрайды. Мысалы, галофильді бактериялар 0,75-те өсе алады, бірақ көптеген бактериялар үшін бұл мәндер шамамен 0,87 [4]. Кептірілген жемістер мен көкөністердің төмен су белсенділігі (aw) әдетте 0,70 [5]. Су белсенділігі (aw) төмен өнімдердің осы артықшылықтарына қарамастан, әртүрлі микроорганизмдер, соның ішінде тамақ патогендері бұл процестерге төтеп бере алады [4]. Ғалым Duygu Alp, Ozcan Bulantekin зерттеу жұмыстарында судың төмен белсенділігі жағдайында кептіру процесінің микроорганизмдерге және микроорганизмдердің тіршілік ету механизмдеріне әсері терең қарастырылған [6].

Сондықтан микробиологиялық талдау әдістері құрғақ ұнтақтардың сапасы мен қауіпсіздігін бағалауда маңызды құрал болып табылады.

Құрғақ жеміс-жидек ұнтақтарының микро-

биологиялық сапасын бағалау – олардың тағам өнімдерінде қолданылу қауіпсіздігін қамтамасыз етудің маңызды бөлігі болып табылады. Бұл ұнтақтарда микробтық контаминация көбіне бастапқы шикізаттың сапасына байланысты қалыптасады. Сондықтан пайдаланылатын жеміс-жидек дақылдарының микробиологиялық күйін алдын ала бағалау – дайын өнімнің сапасын болжауға мүмкіндік береді. Микроорганизмдердің болуы өнімнің сақтау мерзіміне, органолептикалық қасиеттеріне және тұтынушы денсаулығына әсер етуі мүмкін. Осы тұрғыдан алғанда, микробиологиялық талдау әдістері – ұнтақ өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін бағалауда маңызды құрал ретінде қарастырылады. Бұл өз кезегінде тұтынушыларға сапалы және қауіпсіз өнім ұсынуға мүмкіндік береді [7].

Осы мақсатта қолданылатын заманауи әдістердің бірі - Compact Dry экспресс-тест жүйелері. Бұл тесттер дәстүрлі зертханалық әдістермен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие. Compact Dry жүйесі пайдалануға толық дайын күйде келеді және оны тек зертханада ғана емес, қажет болған жағдайда өндіріс алаңында да қолдануға болады. Диаметрі небәрі 5 см пластиктен жасалған шағын табақшалар сақтау мен тасымалдауға өте ыңғайлы. Әр алюминий қаптамада стерильді, гамма-сәулеленумен өңделген төрт пластинадан тұратын жиынтық. Бұл тәсіл қоректік ортаны алдын ала дайындауды қажет етпейді, демек қосымша шығындарды жояды. Тест жүйесінің басты артықшылықтарының бірі — оның ұзақ мерзімділігі: бөлме температурасында екі жылға дейін сақталады және мұздатуды қажет етпейді. Үлгі табақша бетіне біркелкі таралып, колонияларды оңай анықтауға мүмкіндік береді. Қауіпсіз қақпақтар мен ықшамдылығы бұл жүйені өндіріске де, мобильді жағдайда да тиімді етеді. Сонымен қатар, колонияларды санауға арналған арнайы компьютерлік және мобильді қосымшалар да қарастырылған. Compact Dry өнімдері EC, TC, PA, YMR, ECO, XBC, AQ, ETB, YM, CF, SL, ETC секілді түрлі тест түрлерін қамтиды және олар халықаралық стандарттарға сай жасалған. Бұл жүйе жеміс-жидек ұнтақтарының микробиологиялық сапасын тиімді, жедел әрі дәл бағалауға мүмкіндік береді [8].

Compact Dry тесттік жүйелері қарапайым қоректік орта ретінде жасалып, күнделікті микробиологиялық талдау жұмыстарын оңтайландыруға бағытталған. Бұл жүйе зертханалық процестерді жеңілдетіп, қоректік ортаны дайындауға кететін уақыт пен еңбек шығындарын едәуір қысқартады. Инкубациядан кейін (бірнеше күн ішінде) бактерия колонияларын визуалды түрде оңай ажыратуға болады, себебі олардың түсі арнайы хромогендік индикаторлардың арқасында айқын көрінеді. Атап айтқанда, E. coli және колиформды бактериялар тиісті түрде боялады. Ортада Magenta-Gal және X-Gluc деп аталатын екі түрлі хромогендік ферменттік субстраттар бар. Бұл субстраттар E. coli үшін - көк немесе көкшілкүлгін колониялар, колиформдар үшін - қызыл, қызыл-күлгін немесе ашық қызғылт түсті колониялар түзуге мүмкіндік береді [9].

Compact Dry пластиналары құрғақ қоректік орта мен гел түзуші агентпен жабылған диффузиялық қабаттан тұрады. Зерттеу үшін 1 мл сұйық үлгі тест пластинасының ортасына енгізіледі. Үлгі енгізілгеннен кейін, талшықты диффузиялық қабаттың капиллярлық қасиеттері арқасында диффузия процесі автоматты түрде басталады. Осы сәтте, гел түзуші агент әсерінен орта тез қатаяды. Айта кету керек, диффузия мен гель түзілуі бір мезгілде өтеді, бұл процесс бірнеше секундта аяқталады, сондықтан үлгіні алдын ала араластыру немесе гомогенизациялау қажет болмайды. Бұл технология зерттеуді айтарлықтай оңайлатып, уақытты үнемдеуге мүмкіндік береді [10].

Зерттеу мақсаты жеміс-жидек дақылдарынан жасалған құрғақ ұнтақтардың микробиологиялық сапасын Compact Dry экспресс -әдісі арқылы тексеру.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу жұмыстары Қ. Құлажанов атындағы ”Қазақ технология және бизнес” университеті ”Технология және стандарттау” кафедрасының зертханасында жүргізілді.

Зерттеу объектілері ретінде алманың «Превосход» және «Лимонка» сорттары мен қызыл және

қара қарақаттан дайындалған 4 түрлі құрғақ ұнтақ үлгілері алынды. Зерттеу объектілері жеміс-жидек дақылдарынан жасалған құрғақ ұнтақтардың келесі үлгілері болды: - №1 «Превосход» сортты алмасы; - № 2 «Лимонка» сортты алмасы; - №3 Қара қарақат; - №4 Қызыл қарақат.

Микроорганизмдермен ластанудың сандық көрсеткіштерін зерттеу Nissui Pharmaceutical CO. LTD (Жапония) фирмасы шығаратын Compact Dry микробиологиялық талдау үшін дайын хромогенді қоректік ортаны қолдану арқылы жүргізілді. Compact Dry – бұл жазуға арналған өрісі бар, кішкентай пластик табақшалар түрінде жасалған, құрғақ әрі дайын күйдегі хромогенді стерильді қоректік орталар. Пластинаға 1 мл зерттелетін үлгі ерітіндісін тамызғанда, ол бірден бүкіл пластина бойына біркелкі жайылады. Инкубациядан кейін қоректік ортаның бетінде өскен колонияларды санау арқылы нәтижелер алынады. Қоректік орта құрамынада индикаторлық зат қосылады, ол колониялардың өсуі барысында, микроорганизмнің түріне байланысты, әртүрлі түстерге боялады, бактериялардың түрі түсіне қарап анықталады.

Жалпы Compact Dry CC қоректік ортасы өнімдердегі аэробтардың жалпы микробтық санын анықтауға арналған құрғақ орта. Compact Dry – микроорганизмдердің өсуіне қажетті барлық қоректік заттардан тұратын полимерлі гель. Бұл гельдерде әдетте оларда өсетін микроорганизмдердің түріне байланысты түсін өзгертетін индикаторлық заттар болады. Үлгіні Compact Dry құрылғысында инкубациялаудан кейін микроорганизмдердің саны мен түрін көзбен бағалауға болады. Бұл ортамен азық-түлік үлгілеріндегі микробтардың жалпы санын анықтауға мүмкіндік береді, олардың тазалығы мен санитарлық қауіпсіздік дәрежесін бағалауға мүмкіндік беретін әдіс.

Зерттеу барысында Compact Dry жиынтығының 4 түрі қолданылды:

Compact Dry EC (E. Coli/ Coliforms)- E. Coli және колиформды бактерияларды анықтау үшін;

Compact Dry CF (Coliforms) - колиформды бактерияларды анықтау үшін;

Compact Dry SL – сальмонелланы анықтау үшін;

Compact Dry YM(Yeasts&Moulds) - ашытқылар мен зең саңырауқұлақтарын анықтау үшін.

Жоғарыда аталған Compact Dry микробиологиялық тестпен қатар дәстүрлі әдістер арқылы зертханалық жағдайда сериялық сұйылту әдісі арқылы қара және қызыл қарақат жидектеріне және алма жемісінің «Превосход» пен «Лимонка» сұрыптарына зерттеу жүргізілді. Сериялық сұйылту әдістері 10^{-1}- 10^{-4} залалсыздандырылған физиологиялық ерітінділерде жасалды. Сабуро және Эндо қоректік орталарында 1мл зерттелетін өнімнен қатты қоректік орталарға егу арқылы жүзеге асырылды. Инкубациялық кезең Сабуро қоректік ортасында 25 ± 2^0С-та 5 тәулік, ал Эндо 37 $\pm1^0$ С, 24-48 сағат бойы өсіреміз. Өскен колониялар санын КОЕ/г немесе колония түзуші бірліктер (КТБ) санын қажет болған жағдайда микроағзаларды иднетификациялау арқылы санақ жүргізілді.

Зерттелетін жеміс-жидек дақылдарынан жасалған құрғақ ұнтақтардың үлгілерін дайындау келесі әдіспен жүргізілді: 5 г мөлшерінде сынама дәл өлшеніп алынды, кейін 1:9 сұйылту әдісі қолданылып, оған 45 мл фосфатты буферлі ерітінді қосылды (нұсқаулыққа сәйкес). Алынған суспензия гомогенизацияланып, одан 1 мл көлемінде үлгі алынып, Compact Dry пластинасының ортасына пипеткамен енгізілді.

Инкубация әрбір тест жиынтығына арналған нұсқаулыққа сәйкес жүргізілді — бұл жағдайда температуралық режим мен инкубация уақыты ерекшелігі ескерілді.

Қоректік ортада өскен бактериялар колонияларының санын анықтау үшін автоматтандырылған Bactlab мобильді қосымшасы қолданылды [11].

Жеміс-жидек дақылдарынан жасалған құрғақ ұнтақтардың микробиологиялық қауіпсіздігі Кеден одағының «Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» ТР ТС 021/2011 техникалық регламентінде көрсетілген нормаларға сәйкес бағаланды.

Микробиологиялық зерттеуге сынамаларды

алу ГОСТ 31904-2012 сәйкес жүзеге асырылды.

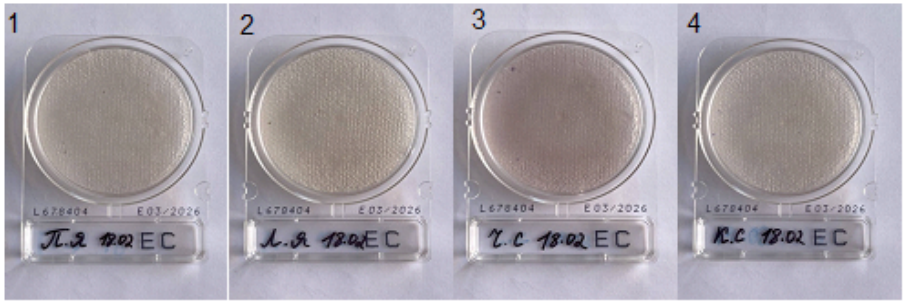
Ішек таяқшасы тобы бактерияларын (колиформды бактериялар) анықтау және санын есептеу ГОСТ 31747-2012 сәйкес жүзеге асырылды.

Ашытқылар мен зең саңырауқұлақтарын анықтау және олардың санын есептеу ГОСТ 10444.12-2013 сәйкес жүзеге асырылды.

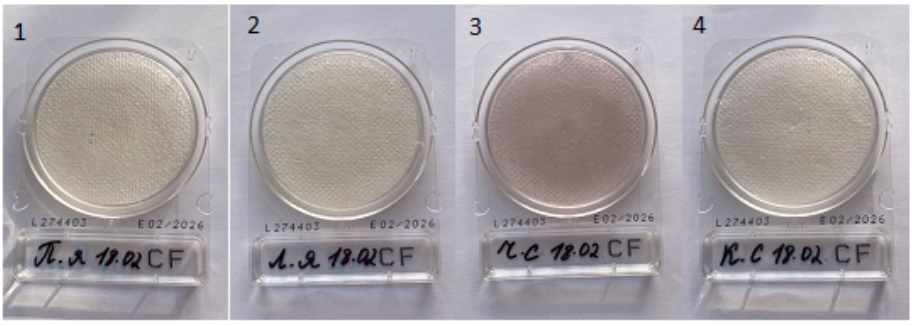
Salmonella тұқымдас бактерияларын анықтау ГОСТ 31659-2012 сәйкес жүзеге асырылды.

Нәтижелер және талқылау. Өнімнің сақталу тұрақтылығын сипаттайтын маңызды көрсеткіштердің бірі – оның микробиологиялық тазалығы. Осыған байланысты, жеміс-жидек дақылдарынан жасалған құрғақ ұнтақтар микробиологиялық сапасы тексерілді. Зерттеуге алынған үлгілерді алдымен 5г өлшеп алып, 1:9 сұйылтымы әзірленді. Одан әрі ішек таяқшаларды және колиформды бактерияларды анықтау үшін Compact Dry EC табақшаларына зерттеуге алынған үлгілер 1 мл көлемде енгізіліп, 37°С температурада 24 сағат инкубацияланған кезде, бета-глюкуронидаза ферментін өндіретін колиформды бактериялар өсетін болса, қоректік ортаның құрамындағы Magenta-Gal және X-Gluc хромогендік ферменттік субстраттар ыдырап, түсінің өзгеруіне себеп болады. Бұл субстраттар E. Coli үшін — көк немесе көкшіл-күлгін колониялар, колиформдар үшін — қызыл, қызыл-күлгін немесе ашық қызғылт түсті колониялар түзуге мүмкіндік береді.

Жеміс-жидек дақылдарынан жасалған құрғақ ұнтақтардың үлгілерін Compact Dry EC табақшаларында зерттеу нәтижесі 1-суретте келтірілген.



1-сурет. Жеміс-жидек дақылдарынан жасалған ұнтақтарды Compact Dry EC зерттеу нәтижесі



2-сурет. Жеміс-жидек дақылдарынан жасалған ұнтақтарды Compact Dry CF зерттеу нәтижесі

Зерттеу нәтижесінде Compact Dry EC табақшаларында ішек таяқша тобы бактериялары (колиформдер) анықталмады.

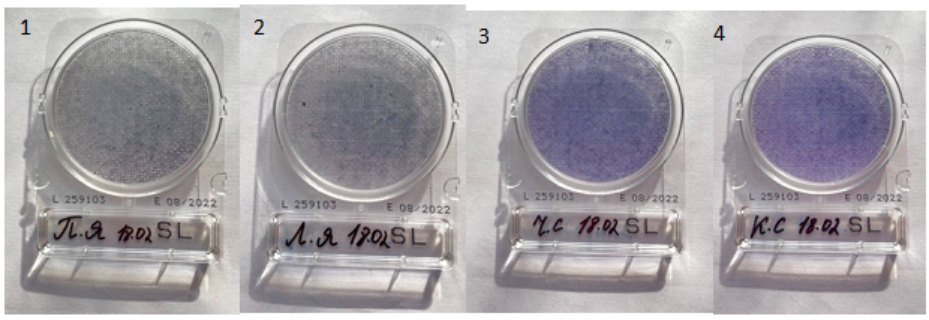
Зерттеу үлгілерін Compact Dry CF қоректік ортасына себу арқылы жүргізілген талдау барысында, 37°С температурада 24 сағаттық инкуба-

циядан кейін ішек таяқшасы тобына жататын колиформ бактериялары көк немесе көкшіл-жасыл түсті колониялар түзеді. Бұл ортаның құрамында X-GAL хромогенді ферменттік субстраты бар, ол осы бактериялардың ферментативтік белсенділігі нәтижесінде түс береді. Басқа бактериялардың өсуі бұл ортада тежеледі, сондықтан олар колония түзбейді және айқындалмайды (сурет 2).

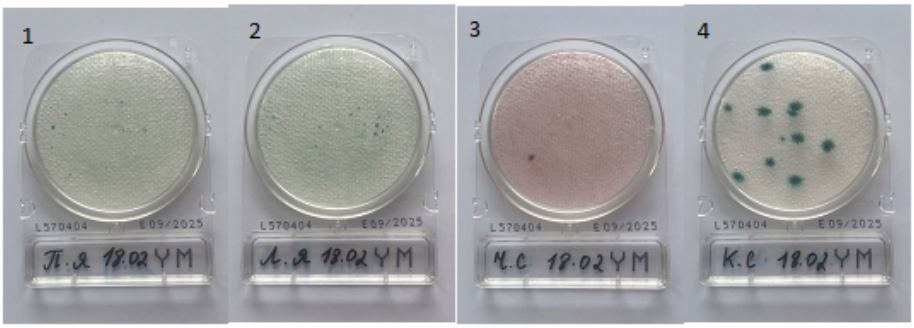
Зерттеу нәтижесінде көрсетілгендей, жеміс-жидек дақылдарынан жасалған ұнтақтарда колиформ бактерияларының өсуі байқалмады.

Compact Dry SL табақшаларының көмегімен *Salmonella* бактерияларын анықтау бірнеше тесттік принциптердің үйлесімі арқылы жүзеге асырылады. Анықтаудың алғашқы көрсеткіші - ортадағы сілтілену үдерісі, бұл құбылыс сальмонеллаларға тән лизиндекарбоксилаза ферментінің белсенділігі нәтижесінде байқалады. Фермент әсерінен ортаның түсі сарыға өзгереді, бұл сілтілік реакцияны білдіреді. Екінші диагностикалық белгі - колониялардың жасыл түске енуі, ол хромогенді субстраттың ферментативтік ыдырауы нәтижесінде туындайды. Бұған қоса, кейбір *Salmonella* штаммдары сутегі сульфидін (H_2S) түзу қабілетіне ие, мұндай жағдайда ортада қара түсті колониялар түзіледі, бұл да бактерияның ерекше биохимиялық қасиетін көрсетеді. Үшінші көрсеткіш – *Salmonella* бактерияларының қозғалғыштығы, ол да дифференциялық диагностикада ескерілетін маңызды фактор болып табылады.

3 - сурете көрсетілгендей, зерттеу материалында салмонелла анықталмады.



3-сурет. Жеміс-жидек дақылдарынан жасалған ұнтақтарды Compact Dry SL зерттеу нәтижесі



4-сурет. Жеміс-жидек дақылдарынан жасалған ұнтақтарды Compact Dry YM зерттеу нәтижесі

Ашытқылар мен зең саңырауқұлақтарын анықтау Compact Dry YM ортасы арқылы жүргізілді. Бұл ортада X-Phos деп аталатын хромогенді фермент субстраты бар, ол көптеген ашытқы түрлерінің ферментативтік белсенділігі нәтижесінде көк түске боялады. Сонымен қатар, орта құрамында бактериялардың өсуін тежейтін антибиотиктер бар, бұл зерттеу нәтижесінің тазалығын

қамтамасыз етеді. Ашытқылар ортада көк немесе жасыл түсті ұсақ колониялар түзеді. Зең саңырауқұлақтары - ірі, мақта тәрізді құрылымға ие, өзіне тән түсті колониялар түзеді. Зерттеу нәтижесі 4- суретте келтірілген.

«Превосход» сортты алмасынан дайындалған ұнтақтарда $45x10^1$ КТБ/г, «Лимонка» сортты алмасы ұнтағынан $44x10^1$ КТБ/г, қара қарақат ұнтақтарынан $1x10^1$ КТБ/г және қызыл қарақат ұнтақтарынан $1x10^2$ КТБ/г анықталды. Бұл көрсеткіштер дегенмен, ГОСТ 10444.12-2013 сәйкес белгіленген шектік мөлшерден аспайды, яғни бұл өнімдер микробиологиялық тұрғыдан қауіпсіз деп бағаланады.

Зерттеу нәтижесі 1-кестеде келтірілген.

1 - кесте. Жеміс-жидек дақылдарынан жасалған ұнтақтардың микробиологиялық көрсеткіштері

Көрсеткіш атауы	Норма	№1	№2	№3	№4	Зерттеу әдістері
E. Coli және колиформды бактериялар, 0,1 г үлгіде	Жіберілмейді	-	-	-	-	ГОСТ 31747-2012
Coliforms 0,1 г үлгіде	Жіберілмейді	-	-	-	-	ГОСТ 31747-2012
Salmonella, 25 г үлгіде	Жіберілмейді	-	-	-	-	ГОСТ 31659-2012
Ашытқы мен зең саңырауқұ-лақтар,КТБ/г аспайды	5x	4,5x102	4,4x102	1,0x101	1,0x102	ГОСТ 10444.12-2013

2 - кесте. Балғын қара және қызыл қарақаттың микробиологиялық шоғырлану дәрежесі

Қарақат түрі	Ашытқылар мен зең саңырауқұлақтар, КТБ саны /г	Эндо қоректік ортасы	КМАФФНМ мезофильді аэробты микрағзалан саны	Қайта өңделгеннен кейін контаминацияның төмендеуі (%)
Қара қарақат	3,2x103	Табылмады	8,5x102	72,9
Қызыл қарақат	4,1x103	2 және 5 үлгілерін-де	1,3x103	69,4

Ұсынылған нәтижелерге сүйенсек жеміс-жидек дақылдарынан жасалған ұнтақтардың барлық төрт үлгісінде де E. Coli және колиформды бактериялар, өнімнің 0,1 г сынамасында анықталмады. Сәйкесінше колиформды бактерияларға тексеру нәтижесінде де барлық сынамаларда анықталмады. Салмонелла коллониялары да өнімнің 25 г мөлшерінен анықталмады. Зерттеу барысында зең саңырауқұлақтарының аздаған колониялары байқалды, дегенмен бұл көрсеткіш шекті мөлшерден аспайды.

Дәстүрлі әдістер арқылы микробиологиялық зерттеулер Эндо және Сабуро қоректік орталарында жүргізілді. Зерттеулердің негізінде алманың екі сұрыптарымен қатар, қара және қызыл қарақат үлгілерінде айтарлықтай мөлшер-

ден тыс микроағзалар саны байқалмады.

Сабуро қоректік ортасы ашытқылар мен зең саңырауқұлақтарын, ал Эндо қоректік ортасы бактериялардың санын анықтауға, сонымен қатар ішек таяқшасының болуын зерттеуге арналды.

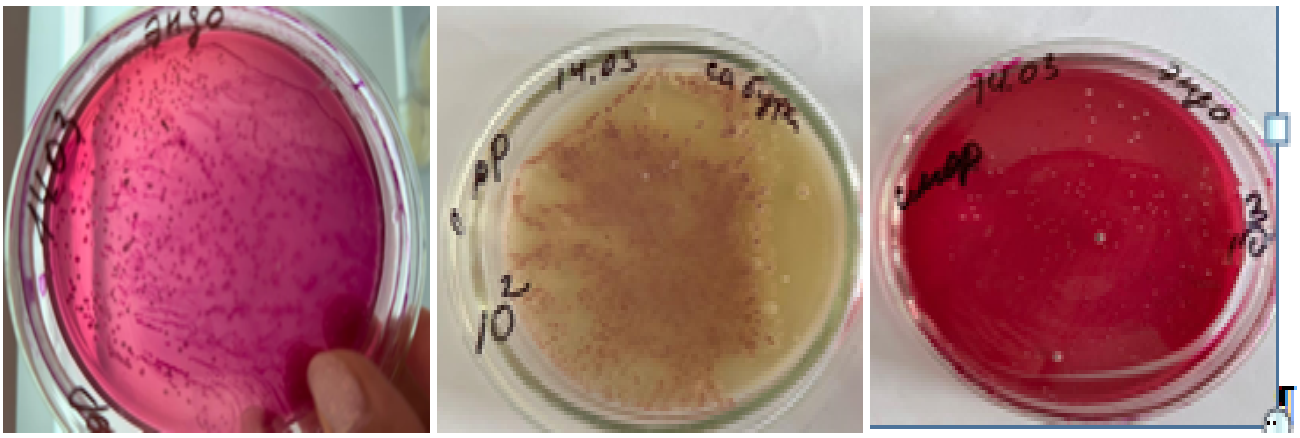
Дәстүрлі әдістер арқылы зерттеу жүргізу үшін зерттеу үлгілері дайындалды (қызыл және қара қарақаттың құрғақ ұнтақтары және ұнтақтарды алғанға дейінгі үлгілері, сонымен қатар алманың екі сұрыпы және олрадың белгілі бір температуралық режиммен алынған құрғақ ұнтақтары).

Төмендегі кестеде зерттеуге алынған қарақат жидегінің микробиологиялық зерттеу нәтижелері келтірілген. Балғын қара және қызыл қарақаттардың құрғақ ұнтақтарын алуға дейінгі үлгілеріне жүргізілген зерттеулер нәтижесі кесте 2 келтірілген.

2 - кестеде келтірілген нәтижелердің морфорлогиялық көрсеткіштері төмендегі 1 суреттен көруге болады.

Қарақаттың өңдеуге дейінге және кейінгі микробиологиялық ластануының салыстырмалы талдауы жаңа піскен қара және қылыз қарақатта 3,2х 10 ^{3}-4,1х10^{3} КТБ/г шегіне ашытқы мен зең саңырауқұлақтары анықталғанын көрсетті. Эндо қоректік ортасында бактериялар саны анықталмады. Ұнтақтарға дейінге қарақат үлгілерінде мезофильді микроағзалар саны 8,5х 10^{3} ден 1,3х10^{3} дейінге төмен көрсеткішті көрсетті. Микробтық ластану деңгейінің төмендеуі 72,9% бен 69,4%-ды құрады. Бұл көрсеткіш технологиялық өңдеудің тиімділігін және өнімнің микробиологиялық қауіпсіздік талаптарына сәйкестігін растайды.

Зерттелген өнімдердің ішінен тек қарақат жидегінде микробиологиялық шоғырлану байқалды (сурет 5).

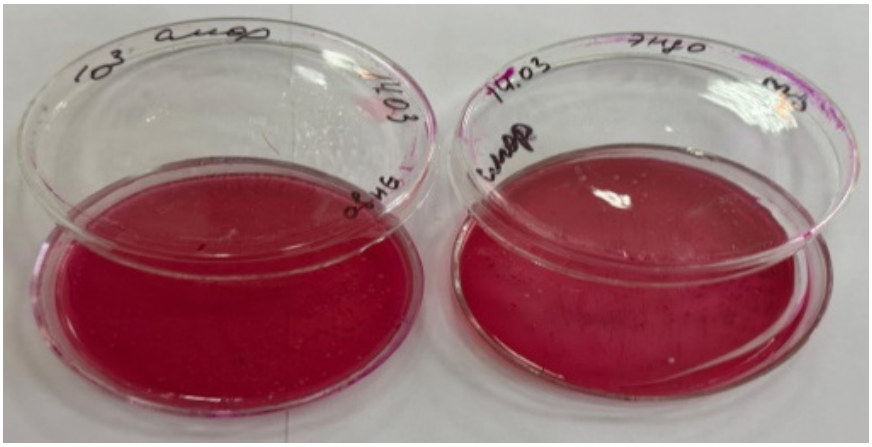


5-сурет. Қарақат өнімдерінде шоғырланған микроағзалар колониялары

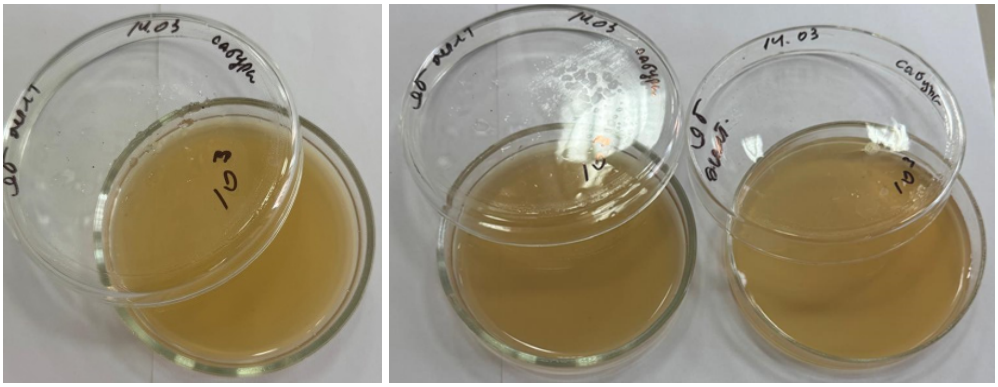
5 - суреттен өскен колонияларға сипаттама бере келе Эндо қоректік ортасында өскен колониялар ұсақ, дөңгеленген, ақшыл қызғылт түстен қызыл түске дейін, беті тегіс екендігі байқалды. Энтеробактериялар тобына ұқсас болып келетін колониялар сонымен қатар олардың қызғылт түсі лактоза ферментациясымен тікелей байланысты екендігін көруге болады. Колониялар Петри табақшасының барлық кеңістігін алып жатқандығы байқалады. Ал, Сабура қоректік орталарындағы өскен колониялар зең саңырауқұлақтарына сайкес келеді. Белсенді өскен колонияларына беттік өсу қасиет тән. Колониялар үлпілдек, бархатталған сұрғылт түстен қою түске аздап ауысқан. Радиальды өскен колонияларының мицелилерінің ерекше құрылы *Aspergillus* пен *Penicillium* туысына ұқсастығы байқалады. Бірен-саран *Saccharomyces* туысына

жататын ашытқылардың балғын колониялары да кездеседі.

Өңдеу алдында анықталған микрофлора табиғи болып табылады және олар адам ағзасына еш қауіп төндірмейді. Алынған көрсеткіштер, яғни колониялар саны температуралық өңдеуге дейінгі көрсеткіш болғандықтан вегетативтік жасушалардың барлық саны жойылған. Арнайы технологиямен 40 - 60 ^{0}С температурада, сонымен қатар арнайы қалыңдықта кептірілген жеміс жидектердің құрғақ ұнтақтарында кептіруге дейінге кездескен микроағзалар саны түгелдей жойылған. Қоректік ортаға егілген микроағзалар көрсеткіштері келесі суреттерде келтірілген.



6-сурет. Қарақат жидегінен алынған құрғақ қоспалардан дайындалған суспензиялардың микробиологиялық көрсеткіштері



7-сурет. Алма жемісінен дайындалған құрғақ қоспалардың микробиологиялық көрсеткіштері

6 - суретте жоғарыда айтылғандай, арнайы температурада кептірілген құрғақ қоспалардың микроағзалармен шоғарлануы тежелгендігін байқауға болады. Сонымен қатар, кептіргіш шакафтар кептіру әдісі өнімдердің сақтау мерзімін ұзартуға, және де өнімлердің құрамындағы минералдарды сақтауға ықпал етеді.

7 - суретте екі сұрыпты алмадан алынған құрғақ қоспалардың суспензиясы егілген қоректік орталар келтірілген.

7 - суретте келтірілген 10^3 суспензиясынан егілген үлгілерден ешқандай өскен колониялар байқалмады. Жеміс-жидектерді кептіруге арналған оңтайлы температураның әсерінен

вегетативті жасушалардың жойылуы байқалды. Құрамындағы су белсенділігінің күрт төмендеуі микрофлораның дамуына қолайсыздық тудырады. Сонымне қатар кептіруге алынған жұқа кесілген өнімдердің кескіндері беркелкі сусызданады және де жоғары ылғалдылық аймақтарын жояды. Дайын ұнтақтарды қайта ластынудан сақтау мақсатында арнайы температура мен ыдыстарды сақтау қажет.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижелері жеміс-жидек дақылдарынан дайындалған құрғақ ұнтақтардың микробиологиялық сапасының жоғары деңгейде екенін көрсетті. Compact Dry жүйесін қолдану арқылы жүргізілген микробиологиялық талдау нәтижесінде ішек таяқшасы тобы бактериялары (E. coli және колиформдар), сондай-ақ Salmonella тектес патогенді микроорганизмдер анықталмады. Бұл деректер зерттелген өнімдердің Кеден одағының «Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» ТР ТС 021/2011 техникалық регламентіне сәйкес келетінін дәлелдейді.

Ашытқылар мен зең саңырауқұлақтарының саны да белгіленген санитариялық-гигиеналық талаптар шегінде болды. Яғни, барлық үлгілер микробиологиялық тұрғыдан қауіпсіз деп бағаланады және тағам өнеркәсібінде қолдануға жарамды.

Compact Dry экспресс-тест жүйесі зертханалық зерттеулерді жедел әрі нақты жүргізуге мүмкіндік беріп, жұмыс үдерісін айтарлықтай оңтайландырды. Бұл жүйе жеміс-жидек ұнтақтарының сапасын бақылауда тиімді құрал бола алады және тағам өнімдерінің микробиологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге үлес қосады.

Дәстүрлі әдіс арқылы жүргізілген микробиологиялық зерттеулер нәтижелерін қорытындылай келе қарақат жидегінен кептірілгенге дейін микроағзалар саны шамамен $3{,}2x10^3$ КТБ санын құраса, құрғақ қоспаларда микроағзалар саны мүлде кездеспеді. Зерттеуге алынған «Превосход» пен «Лимонка» алмалары стандарт талаптарына сәйкес, ешқандай микроағза колонияларымен ластанбағандығы байқалды. Жеміс жидектердің құрғақ қоспалар ұнтақтарын алу үшін қолданған кептіру технологиясы дайын ұнтақтардың микробиологиялық қауіпсіздігіне кепілдік береді.

Қаржыландыру:*Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті БМҚ шеңберінде «Табиғи антиоксиданттармен және биологиялық белсенді заттармен байытылған күнделікті рационға пайдалы тамақ өнімдерін дайындау технологиясын әзірлеу» тақырыбы бойынша №BR24993031 ЖРН ғылыми-техникалық бағдарламасы бойынша қаржыландырды.*

Әдебиеттер

1. Global Fruit Powder Market Size And Forecast, By Product (Speciality Fruits, Conventional Fruits), By Application (Food & Beverages, Pharmaceutical, Nutraceutical, Others), And Trend Analysis, 2015.-2025. - 2018.- 59 p. URL: https://www.hexaresearch.com/research-report/fruit-powder-market.- Қаралған күні: 25.06.2025.

2. Fruit Powder Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2025 - 2030). URL: https: //www.mordorintelligence.com/industry-reports/fruit-powder-market. Қаралған күні:

25.06.2025.3. Лоскутова, Е. В. Получение сухих порошков из плодово-ягодного сырья Дальнего Востока // Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. науч. тр. ДальГАУ. - 2010. - № 9. - С.93-96.

4. Beuchat L.R., Komitopoulou E., Beckers H., Betts R.P., Bourdichon F., Fanning S., Ter Kuile B.H. Low-water activity foods: increased concern as vehicles of foodborne pathogens // Journal of Food Protection. -2013. - Vol.76(1). - P.150- 172. DOI 10.4315/0362-028X.JFP-12-211.

5. Hui Y.H., Barta J., Cano M.P., Gusek T.W., Sidhu J.S., Sinha N.K. Handbook of fruits and fruit processing. // Ames: Blackwell Publishing Professional, 2006. - 648 p. ISBN-13: 978-0-8138-1981-5.

6. Alp D., Bulantekin O. The microbiological quality of various foods dried by applying different drying methods: a review// European Food Research and Technology. - 2021. - Vol.247(6). - P.1333–1343. DOI 10.1007/s00217-021-03731-z.

7. Антипов С.Т., Жашков А.А. Современные технологии при получении плодово-ягодных порошков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. - 2010. - Т.16(2). - С.332-335.

8. Mizuochi S., Kodaka H. Evaluation of Dry Sheet Medium Culture Plate (Compactdry TC) Method for Determining Numbers of Bacteria in Food Samples // Journal of Food Protection. – 2000 – Vol.63(5). – P. 665–667. DOI 10.4315/0362-028X-63.5.665.

9. Compact Dry: An easy test method for counting microorganisms// R-Biopharm AG. - URL: https: //www.viams.net/wp-content/uploads/2020/03/katalog-compact-dry.pdf.-Қаралған күні: 25.06.2025.

10. Kodaka H., Mizuochi S., Teramura H., Nirazuka T. Comparison of the Compact Dry YM with the FDA BAM method for enumeration of yeasts and molds in fruit-based products performance-tested methodSM 100401 // Journal of AOAC International. -2006.-Vol.89(1). -P.127-138.

11. Colony App: Microbiology Lab Assistant. - URL: https://bactlab.colony-app.com. Қаралған күні: 25.06.2025.

References

1. Global Fruit Powder Market Size And Forecast, By Product (Speciality Fruits, Conventional Fruits), By Application (Food & Beverages, Pharmaceutical, Nutraceutical, Others), And Trend Analysis, 2015.-2025. - 2018.- 59 p. URL: https://www.hexaresearch.com/research-report/fruit-powder-market.- Қаралған күні: 25.06.2025.

2. Fruit Powder Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2025 - 2030). URL: https: //www.mordorintelligence.com/industry-reports/fruit-powder-market. Қаралған күні:

25.06.2025.3. Loskutova, E. V. Poluchenie suhih poroshkov iz plodovo-jagodnogo syr’ ja Dal’ nego Vostoka // Tehnologija proizvodstva i pererabotki sel’ skohozjajstvennoj produkcii: sb. nauch. tr. Dal’ GAU. - 2010. - № 9. - S. 93-96. [In Russian]

4. Beuchat L.R., Komitopoulou E., Beckers H., Betts R.P., Bourdichon F., Fanning S., Ter Kuile B.H. Low-water activity foods: increased concern as vehicles of foodborne pathogens // Journal of Food Protection. -2013. - Vol.76(1). - P.150- 172. DOI 10.4315/0362-028X.JFP-12-211.

5. Hui Y.H., Barta J., Cano M.P., Gusek T.W., Sidhu J.S., Sinha N.K. Handbook of fruits and fruit processing. // Ames: Blackwell Publishing Professional, 2006. - 648 p. ISBN-13: 978-0-8138-1981-5.

6. Alp D., Bulantekin O. The microbiological quality of various foods dried by applying different drying methods: a review// European Food Research and Technology. - 2021. - Vol.247(6). - P.1333–1343. DOI 10.1007/s00217-021-03731-z.

7. Antipov S.T., Zhashkov A.A. Sovremennye tehnologii pri poluchenii plodovo-jagodnyh poroshkov // Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. - 2010. - T.16(2). - C.332-335.

8. Mizuochi S., Kodaka H. Evaluation of Dry Sheet Medium Culture Plate (Compactdry TC) Method for Determining Numbers of Bacteria in Food Samples // Journal of Food Protection. – 2000 – Vol.63(5). – P. 665–667. DOI 10.4315/0362-028X-63.5.665.

9. Compact Dry: An easy test method for counting microorganisms// R-Biopharm AG. - URL: https: //www.viams.net/wp-content/uploads/2020/03/katalog-compact-dry.pdf.-Қаралған күні: 25.06.2025.

10. Kodaka H., Mizuochi S., Teramura H., Nirazuka T. Comparison of the Compact Dry YM with the FDA BAM method for enumeration of yeasts and molds in fruit-based products performance-tested methodSM 100401 // Journal of AOAC International. -2006.-Vol.89(1). -P.127-138.

11. Colony App: Microbiology Lab Assistant. - URL: https://bactlab.colony-app.com. Қаралған күні: 25.06.2025.

Авторлар туралы мәлімет

Серикова Ш.- биология ғылымдарының кандидаты, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,e-mail: shynara.serikova@mail.ru;

Хастаева А.Ж.- PhD, доцент, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: gera_or@mail.ru;

Омаралиева А.М.- техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: aigul-omar@mail.ru;

Бектурганова АА.- техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: 1968al1@mail.ru;

Агедилова М.Т.- химия ғылымдарының кандидаты, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: agedilova-2011@mail.ru;

Ботбаева Ж.Т.- биология ғылымдарының кандидаты, доцент, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: zhanar.b.t@mail.ru;

Рахимжанова А.М.- техника ғылымдарының магистрі, сеньор-лектор, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: r.ayagoz@mail.ru.

Information about authors

Serikova Sh.- Candidate of Biological Sciences, K. Kulazhanov Kazakh University of technology and business, Astana, Kazakhstan, e-mail: shynara.serikova@mail.ru;

Khastaeva A.Zh. -PhD, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of technology and business, Astana, Kazakhstan, e-mail: gera_or@mail.ru;

Omaralieva A.M. - candidate of Technical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of technology and business, Astana, Kazakhstan, e-mail: aigul-omar@mail.ru;

Bekturganova A/A.-Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of technology and business, Astana, Kazakhstan, e-mail: 1968al1@mail.ru 2027

Agedilova Mereke Tuyakovna – Candidate of Chemical Sciences, Kazakh University of technology and business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: agedilova-2011@mail.ru;

Botbaeva Zh.T.-Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of technology and business, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanar.b.t@mail.ru;

Rakhimzhanova A.M.- Master of Technical Sciences, senior lecturer K. Kulazhanov Kazakh University of technology and business, Astana, Kazakhstan, e-mail: r.ayagoz@mail.ru.

МРНТИ 65.09.05 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1117**

АЗЫҚ-ТҮЛІК ҚАУІПСІЗДІГІ ТАЛАПТАРЫ ШЕҢБЕРІНДЕГІ СҰЛЫ МЕН СҰЛЫ СУСЫНДАРЫНЫҢ МИКРОБИОЛОГИЯЛЫҚ САПА КӨРСЕТКІШТЕРІ

[1]А.Д. Мыржыкбаева, [2]Ш. Серикова, [2]А.Ж. Хастаева✉, [1]В.С. Жамурова, [2]А.А. Бектурганова, [3]Г.Т. Юсупова

[1]Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы,Қазақстан,
[2]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3]С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті КеАҚ, Астана Қазақстан
✉Корреспондент-автор: gera_or@mail.ru

Осы зерттеу «Думан», «Никола» және «Ишимский» сұлы сорттарының және сұлы сусындарының микробиологиялық сапасын бағалауға бағытталған. Талдау зертханалық жағдайда, нормативтік құжаттармен бекітілген стандартты әдістерді қолдана отырып жүргізілді. Жұмыс аясында өнімнің санитарлық-гигиеналық жай-күйін сипаттайтын негізгі микробиологиялық көрсеткіштер зерттелді. Алынған нәтижелер барлық үлгілердің қауіпсіздік талаптарына толық сәйкес келетінін көрсетті, бұл өнімнің жоғары сапасын растайды және оны үнемі бақылап отыру қажеттілігін көрсетеді.

Түйін сөздер: сұлы, сұлы сусыны, микробиологиялық қауіпсіздік, санитарлық-гигиеналық бағалау, патогенді микроорганизмдер.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ОВСА И ОВСЯНЫХ НАПИТКОВ В РАМКАХ ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

[1]А.Д. Мыржыкбаева, [2]Ш. Серикова, [2]А.Ж. Хастаева✉, [1]В.С. Жамурова, [2]А.А. Бектурганова, [3]Г.Т. Юсупова

[1]Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[3]Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана Казахстан,
e-mail: gera_or@mail.ru

Настоящее исследование направлено на оценку микробиологического качества овса сортов «Думан», «Никола» и «Ишимский» и овсяных напитков. Анализ проводился в лабораторных условиях с использованием стандартных методов, утверждённых нормативными документами. В рамках работы были исследованы ключевые микробиологические показатели, характеризующие санитарно-гигиеническое состояние продукции. Полученные результаты продемонстрировали полное соответствие всех образцов требованиям безопасности, что подтверждает высокое качество продукции и подчёркивает необходимость её постоянного мониторинга.

Ключевые слова: овёс, овсяный напиток, микробиологическая безопасность, санитарно-гигиеническая оценка, патогенные микроорганизмы.

MICROBIOLOGICAL QUALITY INDICATORS OF OATS AND OATMEAL DRINKS WITHIN THE FRAMEWORK OF FOOD SAFETY REQUIREMENTS

[1]A.D. Myrzhykbayeva, [2]Sh. Serikova, [2]A.Zh. Khastayeva✉, [1]V.S. Zhamurova, [2]A.A. Bekturganova, [3]G.T. Yussupova

[1]Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan,
[2]K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[3]NP JSC «S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University», Astana Kazakhstan,
e-mail: gera_or@mail.ru

The present study is aimed at assessing the microbiological quality of oats and oat drinks produced under the «Duman», «Nikola» and «Ishimsky» brands. The analysis was carried out in the laboratory using standard methods approved by regulatory documents. As part of the work, key microbiological indicators characterizing the sanitary and hygienic condition of products were investigated. The results

obtained demonstrated the full compliance of all samples with safety requirements, which confirms the high quality of the products and underlines the need for constant monitoring.

Keywords: oats, oat drink, microbiological safety, sanitary and hygienic assessment, pathogenic microorganisms.

Кіріспе. Функционалды тамақтану мен салауатты өмір салтына деген қызығушылықтың артуы аясында жоғары тағамдық құндылығы мен биологиялық белсенділігі бар өсімдік тектес өнімдерге сұраныс өсіп келеді. Сұлы (*Avena sativa L.*) және одан алынатын өнімдер өзінің тағамдық құндылығы мен пайдалы қасиеттеріне байланысты салауатты тамақтану рационында маңызды рөл атқарады. Сұлы – көмірсулардың, ақуыздардың, дәрумендердің, минералдардың және талшықтардың құнды көзі болып табылады, бұл зат алмасуды реттеуге және ас қорыту жүйесінің жұмысын жақсартуға ықпал етеді. Соңғы жылдары сүт өнімдеріне пайдалы балама ретінде қарастырылатын сұлы сусындарына деген қызығушылық артып келеді, әсіресе сүтке аллергиясы бар адамдар мен вегандық диетаны ұстанушылар үшін.

Сұлы - ақуыздар, көмірсулар, В тобы дәрумендері, тағамдық талшықтар және антиоксиданттар сияқты әртүрлі нутриенттерді қамтитын ең перспективалы дәнді дақылдардың бірі [1]. Дәстүрлі түрде ботқа мен ұн түрінде қолданылуына қосымша, сұлы бүгінде лактозасыз сусындар мен функционалды өнімдер өндіру үшін жиі пайдаланылып келеді, бұл өз кезегінде олардың микробиологиялық қауіпсіздігіне ерекше назар аударуды талап етеді. Попова Н.В. [2] еңбегін қоса алғанда, бірқатар зерттеулер көрсеткендей, сұлы сусынын сүтқышқылды микроорганизмдер көмегімен ферменттеу тек органолептикалық сипаттамаларды жақсартып қана қоймай, шартты-патогенді микрофлора деңгейін едәуір төмендетуге ықпал етеді, осылайша дайын өнімнің жоғары санитарлық қауіпсіздігін қамтамасыз етеді. Бұл сұлы шикізаты мен одан жасалған өнімдерге кешенді микробиологиялық бағалау жүргізудің өзектілігін көрсетеді [3].

Микробиологиялық көрсеткіштер тағамның сапасын ғана емес, оның қауіпсіздігін де бағалауға мүмкіндік береді. Олар зерттелетін өнімдегі микроорганизмдердің сандық және сапалық құрамын қамтиды. Көбінесе сыртқы жағынан қатерсіз тамақ өнімі ауыр тамақтан улануды немесе тіпті тамақ инфекциясын тудыруы мүмкін. Азық-түлік өнімінде кездесетін микроорганизмдер оған шикізаттан бастап дайын өнімге дейін, соның ішінде өнімді орау, сақтау және тасымалдау арқылы бүкіл технологиялық пісіру тізбегі арқылы ене алады [3].

Практикалық тұрғыда барлық бақылау нысандары мезофильді аэробты және факультативті-анаэробты микроорганизмдердің санан (МАФАнМС), ішек таяқшалары тобы бактерияларының (ІТТБ колиформалар), патогенді бактериялар, соның ішінде сальмонеллалар, ашытқылар мен зеңдердің бар-жоғына тексеруден өтеді [4,5].

МАФАнМС көрсеткіші КТБ/г ($см^3$) (колония түзуші бірліктер) өлшенеді, шикізаттың, қосалқы материалдардың және дайын өнімнің көлемі немесе массасы бірлігінде табылған микроорганизмдердің жалпы санын сипаттайды. Азық-түлік сапасын зерттеу кезінде бұл микробиологиялық сынақ ең көп таралған болып табылады.

МАФАнМС анықтамасы тамақ технологиясының бұзылуын анықтауға мүмкіндік береді және микроорганизмдердің әртүрлі топтарының болуы туралы хабарлайды. Өндірістің санитарлық-гигиеналық режимін сақтамау, өнімді термиялық өңдеудің жеткіліксіздігі, тасымалдау және сақтау ережелерін бұзу өнімнің сапасы мен қауіпсіздігіне теріс әсер ететін МАФАнМС рұқсат етілген нормаларының асып кетуіне әкеледі. Сонымен қатар, сақтау кезінде өнімнің төзімділігінің төмендеу қаупі бар, сонымен қатар патогендік микроорганизмдердің – тамақтан улану мен тамақ инфекцияларының қоздырғыштарының пайда болу ықтималдығы артады. Мемлекеттік стандарттарда, техникалық шарттарда, санитарлық ережелерде (МЕМСТ, ТШ, СанПиН

2.3.2.1078–01 ”Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі мен тағамдық құндылығының гигиеналық талаптары”, КО ТР 021 2011 ”Кеден одағының тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі туралы техникалық регламенті”) шикізаттағы, жартылай өнімдердегі және дайын өнімдердегі ластаушы микроорганизмдердің мөлшері бойынша нормалар жарияланды [6-7].

Сұлы мен оның негізіндегі өнімдердің микробиологиялық қауіпсіздігін зерттеу бұл тағамдардың әртүрлі микроорганизмдермен ластануға бейім болуы мүмкін екенін көрсетеді, бұл олардың сапасы мен тұтынушылардың қауіпсіздігіне әсер етуі мүмкін. Сұлы микробиологиялық жағдайын анықтайтын маңызды факторлар астықты өсіру, сақтау және өңдеу жағдайлары болып табылады. Бірқатар зерттеулерге сәйкес, сұлы-бұл зең, ашытқы және патогендік бактериялар, соның ішінде *Salmonella spp* сияқты микроорганизмдер әсер етуі мүмкін өнім., *L. monocytogenes* және *Escherichia coli*.

Сұлы өнімдерін өндірудің барлық кезеңдерінде микробиологиялық бақылау жүргізу тағамдық токсикоинфекция тудыруы мүмкін патогендермен ластанудың алдын алу үшін қажет. Сонымен қатар, жалпы микробтар санының (МАФАнМС), ашытқылар мен зең саңырауқұлақтарының жоғары көрсеткіштері технологиялық процестердің бұзылуын, сақтау шарттарының сақталмауын немесе санитарлық талаптарға сәйкес келмеуін көрсетуі мүмкін [8].

МЕМСТ 30726-2001 стандартында белгіленген әдістеме өндірістің әртүрлі кезеңдерінде, дәннен бастап дайын өнімге дейін, микробиологиялық көрсеткіштерді анықтауды қамтиды. Бұл әдістеме микроорганизмдердің жалпы санын ғана емес, сондай-ақ патогенді микроорганизмдердің болуы мүмкін екенін де анықтауға мүмкіндік береді, бұл өнімнің тұтынушылар үшін қауіпсіздігін бағалау үшін қажет [9].

Сұлы сусынының микробиологиялық жағдайына ерекше назар аудару қажет етеді, себебі оның құрамында су, қанттар және басқа да қоректік заттар болуы микроорганизмдердің өсуі үшін қолайлы жағдай жасайды. Сұлы сусындарына арналған зерттеулерде өндірістің оңтайлы жағдайлары сақталған және сақтау талаптары дұрыс орындалған жағдайда микробиологиялық ластану қаупі барынша азаятындығы көрсетілген. Алайда басқа өсімдік тектес сусындар сияқты, барлық өндірістік кезеңдерде және сапаны бақылау барысында стерильділікті қамтамасыз ету патогенді микроорганизмдердің болуын болдырмау және өнімнің сақтау мерзімін ұзарту үшін маңызды фактор болып табылады [10].

Осы зерттеу сұлы дәні мен одан өндірілген сусындарға кешенді микробиологиялық бағалау жүргізуге бағытталған және бұл бағалау ұлттық және халықаралық нормативтермен реттелетін стандартты әдістерді қолдану арқылы іске асырылды. Алынған нәтижелер аталған өнім санатының сапасы мен қауіпсіздігін негіздеуге мүмкіндік береді және өндірістегі санитарлық-гигиеналық бақылауды қамтамасыз етуге ықпал етеді.

Материалдар мен әдістер. Зерттеу нысандары ретінде «Думан», «Никола» және «Ишимский» сұлы сорттарының үлгілері, сондай-ақ осы сорттардан дайындалған сұлы сусындары алынды. Сынақтар 2023 жылғы 15–25 мамыр аралығында бақыланатын жағдайларда жүргізілді: ауа температурасы 22 ± 2 °C, салыстырмалы ылғалдылық — 62 ± 5 %.

Келесі көрсеткіштер анықталды: МАФАнМС, ІТТБ (колиформалар), ашытқылар, зеңдер, патогенді микроорганизмдер, соның ішінде *Salmonella spp., L. monocytogenes, S. aureus, E. coli.* Сынамаларды іріктеу МЕМСТ 26668–85 талаптарына сәйкес жүргізілді. [11] Микробиологиялық талдау үшін қолданыстағы стандарттармен реттелген әдістер пайдаланылды:

МЕМСТ 30726-2001 - *Escherichia coli* бактерияларын анықтау және санын белгілеу әдістері [9].

МЕМСТ 10444.15-94-Мезофильді аэробты және факультативті-анаэробты

микроорганизмдердің санын анықтау әдістері [12].

МЕМСТ 31747-2012 - Ішек таяқшалары тобы бактерияларын (колиформды бактериялар) анықтау және санын белгілеу әдістері [13].

МЕМСТ 10444.12-2013 - Ашытқылар мен зең саңырауқұлақтарын анықтау әдістері [14].

МЕМСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002) - *Salmonella spp*. анықтауға арналған халықаралық стандарт нұсқасы [15].

МЕМСТ 31746-2012 - Тағам өнімдеріндегі *Staphylococcus aureus* анықтау әдісі [16].

МЕМСТ 32031-2012 - Тағам өнімдеріндегі *Listeria monocytogenes* анықтау әдістері [17].

Өнім үлгілері жалпы микробтар санын анықтау үшін қоректік ортаға егілді. Бұл мақсатта пептонды агар және ашытқы мен зең қосылған агар тәрізді агарлы орталар қолданылды. Егу жүргізілгеннен кейін инкубация 30°C температурада 48 сағат бойы жүргізілді. Микроорганизмдер саны колония түзуші бірліктермен (КТБ) тіркелді, яғни өнімнің бір граммы немесе миллилитрінен пайда болған колониялар саны көрсетілді. Бұл көрсеткіш өнімнің жалпы микробтық жүктемесін және санитарлық жағдайын бағалау үшін маңызды.

Ашытқылар мен зең саңырауқұлақтары бөлек зерттелді, себебі олар өнімнің сапасына, дәміне, иісіне және сақтау мерзіміне әсер етуі мүмкін. Зең саңырауқұлақтарын бақылау ерекше маңызды, өйткені олар өнімді бұзып, уыттар (микотоксиндер) бөлуі мүмкін, бұл өнімді тұтыну үшін қауіпті етеді. Ашытқылар ферментация кезінде пайдалы болуы мүмкін, алайда олардың шектен тыс мөлшері өндіріс технологиясының немесе сақтау шарттарының бұзылғанын көрсетуі мүмкін.

Патогенді микроорганизмдерді сапалы анықтау мақсатында арнайы қоректік орталар мен идентификацияға бағытталған әдістер қолданылды, зерттеуге сальмонеллалар, ішек таяқшасы, листериялар және стафилококктар сияқты патогенді микроорганизмдер алынды. Бұл үшін микроорганизмдердің колониялар түрінде өсуі арқылы көрінетін таңдамалы орталарға себу жүргізілді.

Егістен кейін зерттелетін үлгілер микроорганизмдердің өсуін қамтамасыз ететін белгілі бір жағдайларда (температура мен уақыт) инкубацияланды. Инкубациядан кейін колониялар морфологиялық (мысалы, колониялардың мөлшері, пішіні мен түсі) және биохимиялық белгілері (мысалы, көмірсуларды ашытуы, газ бөлуі) бойынша идентификацияланды. Бұл әдістер микроорганизмнің түрін және оның белсенділігін дәл анықтауға мүмкіндік береді.

Нәтижелер және талқылау.

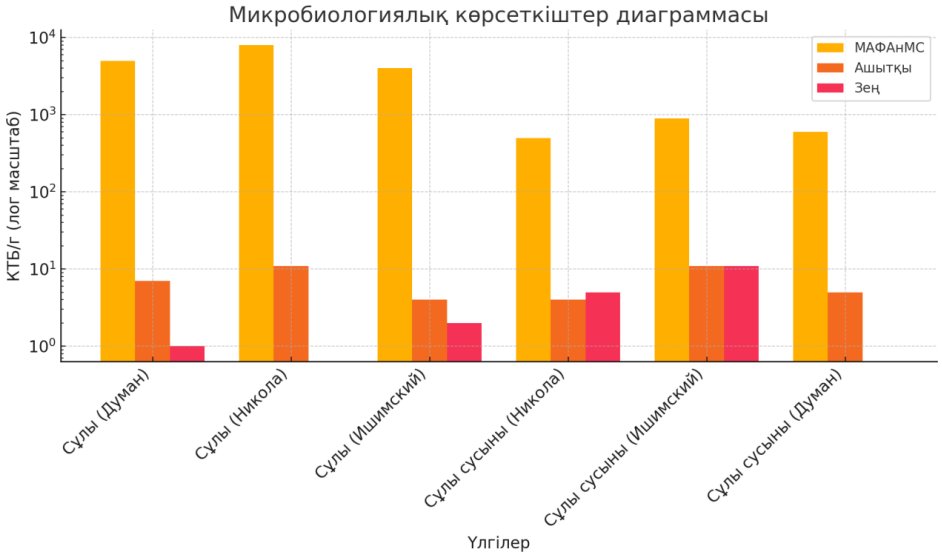
1-кесте. Сұлы мен сұлы сусынының микробиологиялық зерттеу нәтижелері

Үлгі	МАФАнМС (КТБ/г)	ІТТБ (1 см³)	Ашытқы (КТБ/г)	Зең (КТБ/г)	Salmonella spp. (25 г-да)	S. aureus	L. monocytogenes	E. coli
Сұлы (Думан)	5×10³	Таб жоқ	7	1	Таб жоқ	Таб жоқ	Таб жоқ	-
Сұлы (Никола)	8×10³	Таб жоқ	11	Табылған жоқ	Таб жоқ	Таб жоқ	Таб жоқ	-
Сұлы (Ишимский)	4×10³	Таб жоқ	4	2	Таб жоқ	Таб жоқ	Таб жоқ	-
Сұлы сусыны (Никола)	5×10²	Таб жоқ	4	5	Таб жоқ	Таб жоқ	Таб жоқ	Таб жоқ
Сұлы сусыны (Ишимский)	9×10²	Таб жоқ	11	11	Таб жоқ	Таб жоқ	Таб жоқ	Таб жоқ

Сұлы сусыны (Думан)	6×10^2	Таб жоқ	5	Таб жоқ.	Таб жоқ	Таб жоқ	Таб жоқ	Таб жоқ

Ескертпелер:

- «Таб жок.» - Табылған жоқ.
- ”- ”Белгісі осы үлгі үшін көрсеткіш анықталмағанын білдіреді.



1 - сурет. Сұлы мен сұлы сусынының микробиологиялық көрсеткіштері

Барлық жағдайда көрсеткіштер рұқсат етілген нормалардан аспайды, бұл өндірістің санитарлық-гигиеналық деңгейінің жоғары екенін көрсетеді. Барлық үлгілерде микробтық ластану деңгейі төмен болды. ІТТБ мен сальмонеллалар сияқты патогенді микроорганизмдер ешбір үлгіден табылған жоқ. Бұл микробиологиялық стандарттарға сәйкестікті және өнімдердің тұтынуға қауіпсіз екенін дәлелдейді.

Зерттелген барлық үлгілер микробиологиялық ластанудың төмен деңгейін көрсетті, бұл шикізаттың жоғары санитарлық сапасын және өндірістің барлық кезеңдерінде технологиялық нормалардың сақталғанын дәлелдейді. МАФАнМС рұқсат етілген шектерде болды және дәнді дақылдарды өңдеу өнімдері мен соның негізінде дайындалған алкогольсіз сусындарға арналған гигиеналық нормативтерден аспады.

Барлық сынамаларда ІТТБ, сондай-ақ *Escherichia coli, Salmonella spp., Staphylococcus aureus* және *Listeria monocytogenes* секілді патогенді микроорганизмдер анықталмады. Бұл өнімді өңдеу, пастерлеу және сақтау кезеңдерінде санитарлық-гигиеналық талаптардың сақталғанын растайды. Аталған микроорганизмдердің анықталмауы микрофлора үшін жоғары қоректік орта болып табылатын сұлыны ескере отырып, ерекше маңызды.

Барлық сынамаларда ІТТБ, сондай-ақ *Escherichia coli, Salmonella spp., Staphylococcus aureus* және *Listeria monocytogenes* сияқты патогенді микроорганизмдер анықталмады. Бұл өнімді қайта өңдеу, пастерлеу және сақтау кезеңдерінде санитарлық-гигиеналық нормалардың сақталғанын растайды. Бұл микроорганизмдердің анықталмауы – ерекше маңызды, себебі сұлы микрофлора үшін ыңғайлы қоректік орта болып табылады.

Ашытқы және зең саңырауқұлақтарының мөлшері де алаңдаушылық туғызған жоқ. Олардың концентрациясы белгіленген нормативтер шегінде қалып, өнімнің микробиологиялық

құрамының тұрақтылығын және жағымсыз микрофлораның дамуына жағдай жасалмағанын көрсетті.

Осылайша, зерттеу нәтижелері бойынша сұлы дәндері мен зерттелген сұлы сусынының түрлері тұтыну үшін қауіпсіз екенін және тамақ өнімдерінің микробиологиялық бақылауына қойылатын қолданыстағы стандарттар талаптарына сәйкес келетінін айтуға болады.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулер «Думан», «Никола» және «Ишимский» сұлы сорттарының, сондай-ақ сұлы сусынының микробиологиялық қауіпсіздігін растады. Барлық үлгілер МЕМСТ талаптарына сәйкес келеді және халық тұтынуына ұсынылуы мүмкін. Алынған деректер өндірушілер ұстанатын жоғары сапа стандарттарын, сондай-ақ осындай өнімдердің сапасы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында микробиологиялық қауіпсіздік бойынша мониторингті жалғастыру қажеттігін дәлелдейді.

Сонымен қатар, ұлттық стандарттармен бекітілген әдістерді қоса алғанда, нормативтік талаптарды сақтау өндірістің және өнімді өткізу процесінің барлық кезеңдерінде санитарлық-гигиеналық қауіпсіздікті қамтамасыз етуге ықпал ететіні маңызды.

Зерттеу нәтижелері өнімнің әртүрлі өндіру және сақтау сатыларында микробиологиялық көрсеткіштерді тұрақты бақылаудың маңыздылығын көрсетеді. Барлық үлгілерде *Salmonella spp., L. monocytogenes* және *S. aureus* сияқты патогенді микроорганизмдер анықталмағанымен, санитарлық талаптарды қатаң сақтау және технологиялық процестерді ұқыпты жүргізу ластану қаупін болдырмауға және өнім сапасын жоғары деңгейде ұстауға мүмкіндік береді.

Болашақта сұлы мен сұлы сусынының сапасын арттыру мақсатында зерттелетін сорттар санын арттырып, сақтау жағдайларының өнімнің микробиологиялық жай-күйіне әсерін ескеру ұсынылады.

Осылайша, аталған зерттеу аясында зерттелген өнімдердің тұтынушылар үшін қауіпсіз екенін және қазіргі заманғы сапа мен қауіпсіздік стандарттарына толық сәйкес келетінін растайды.

Әдебиеттер

1. Солтан О.И.А. Разработка технологии овсяной муки с интенсивным увлажнением зерна и мучных композитных смесей на её основе // дис. ... канд. техн. наук. - Санкт-Петербург. - 2020. - 149 с.

2. Попова Н.В., Калинина И.В., Васильев А.К., Каменева К.С. Оценка эффективности и оптимизация процесса ферментации овсяного напитка молочнокислыми микроорганизмами // Аграрная наука. - 2024. - № 2. - С. 127-132. DOI 10.32634/0869-8155-2024-379-2-127-132.

3. Ходунова О.С., Силантьева Л.А. Влияние различных способов обработки на микробиологические показатели пророщенных семян овса // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». - 2017. - № 1. - С.3-8.

4. Мойсеяк М.Б., Ильяшенко Н.Г., Гришин А.Г. Микробиологическая безопасность при производстве пищевых продуктов // Вестник Медицинского института непрерывного образования. – 2022. - №3. - С.64–67. DOI 10.46393/27821714_2022_3_64

5. Микробиологическая порча пищевых продуктов / Под ред. К. де В. Блекберн. Пер. с англ. - СПб.: Профессия. - 2008. - 784 с. ISBN 978-5-93913-146-9.

6. СанПиН 2.3.2.1078–01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы» // Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. - 2004. - 34 с. https://files.stroyinf.ru Дата обращения: 10.04.2025.

7. ТР ТС 021 2011 «Технический регламент Таможенного союза о безопасности пищевой продукции». – 2011. URL: https://online.zakon.kz.- Дата обращения: 10.04.2025.

8. ГОСТ Р 51705.1–2001 «Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования». - 2001. URL: https://files.stroyinf.ru.- Дата обращения: 10.04.2025.

9. ГОСТ 30726–2001 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий вида Escherichа coli. – 2001. URL: https://online.zakon.kz Дата обращения: 10.04.2025.10. Ерофеева А. В., Бурмасова М. А., Сысоева М. А. Получение напитков на овсяной основе с растительными добавками//Вестник МГТУ. -2023.-Т.26(3).- С.249–256. DOI 10.21443/1560-9278-2023-26-3-249-256

11. ГОСТ 26668-85 Продукты пищевые и вкусовые. Методы отбора проб для микробиологических анализов. URL: https://meganorm.ru.- Дата обращения: 15.04.2025.

12. ГОСТ 10444.15-94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. URL: https://files.stroyinf.ru.- Дата обращения: 15.04.2025.

13. ГОСТ 31747-2012 - Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). URL: https://meganorm.ru.- Дата обращения: 15.04.2025.

14. ГОСТ 10444.12-2013 - Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов. URL: https://meganorm.ru. Дата обращения: 15.04.2025.

15. ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002) – Продукты пищевые Метод выявления бактерий рода Salmonella. URL: https://files.stroyinf.ru.- Дата обращения: 17.04.2025.

16. ГОСТ 31746-2012 – Продукты пищевые Методы выявления и определения количества коагулазоположительных стафилококков и Staphylococcus aureus. https://meganorm.ru . Дата обращения: 17.04.2025.

17. ГОСТ 32031-2012 Продукты пищевые. Методы выявления *Listeria monocytogenes* в пищевой продукции. https://meganorm.ru.- Дата обращения: 17.04.2025.

References

1. Soltan O.I.A. Razrabotka tehnologii ovsjanoj muki s intensivnym uvlazhneniem zerna i muchnyh kompozitnyh smesej na ejo osnove // dis. ... kand. tehn. nauk. - Sankt-Peterburg. - 2020. - 149 s. [in Russian]

2. Popova N.V., Kalinina I.V., Vasil’ ev A.K., Kameneva K.S. Ocenka jeffektivnosti i optimizacija processa fermentacii ovsjanogo napitka molochnokislymi mikroorganizmami // Agrarnaja nauka. - 2024. - № 2. - S.127-132. DOI 10.32634/0869-8155-2024-379-2-127-132. [in Russian]

3. Hodunova O.S., Silant’ eva L.A. Vlijanie razlichnyh sposobov obrabotki na mikrobiologicheskie pokazateli proroshhennyh semjan ovsa // Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Serija «Processy i apparaty pishhevyh proizvodstv». - 2017. - № 1. - S.3-8. [in Russian]

4. Mojsejak M.B., Il’ jashenko N.G., Grishin A.G. Mikrobiologicheskaja bezopasnost’ pri proizvodstve pishhevyh produktov // Vestnik Medicinskogo ins[in Russian] tituta nepreryvnogo obrazovanija. – 2022. - №3. - S.64–67. DOI 10.46393/27821714_2022_3_64.

5. Mikrobiologicheskaja porcha pishhevyh produktov / Pod red. K. de V. Blekbern. Per. s angl. - SPb.: Professija. - 2008. - 784 s. ISBN 978-5-93913-146-9. [in Russian]

6. SanPiN 2.3.2.1078–01 «Gigienicheskie trebovanija bezopasnosti i pishhevoj cennosti pishhevyh produktov: sanitarno-jepidemiologicheskie pravila i normativy» // Federal’ nyj centr Gossanjepidnadzora Minzdrava Rossii. - 2004. - 34 s. [in Russian] https://files.stroyinf.ru.- Data obrashhenija: 10.04.2025.

7. TR TS 021 2011 «Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza o bezopasnosti pishhevoj produkcii». – 2011. URL: https://online.zakon.kz.- Data obrashhenija: 10.04.2025. [in Russian]

8. GOST R 51705.1–2001 «Sistemy kachestva. Upravlenie kachestvom pishhevyh produktov na osnove principov HASSP. Obshhie trebovanija». - 2001. [in Russian] URL: https://files.stroyinf.ru.- Data obrashhenija: 10.04.2025.

9. GOST 30726–2001 Produkty pishhevye. Metody vyjavlenija i opredelenija kolichestva bakterij vida Eschericha coli. – 2001. URL: https://online.zakon.kz.- Data obrashhenija: 10.04.2025. [in Russian]

10. Erofeeva A. V., Burmasova M. A., Sysoeva M. A. Poluchenie napitkov na ovsjanoj osnove s rastitel’ nymi dobavkami//Vestnik MGTU. -2023.-T.26(3).- S.249–256. DOI 10.21443/1560-9278-2023-26-3-249-256. [in Russian]

11. GOST 26668-85 Produkty pishhevye i vkusovye. Metody otbora prob dlja mikrobiologicheskih analizov. URL: https://meganorm.ru.- Data obrashhenija: 15.04.2025. [in Russian]

12. GOST 10444.15-94 Produkty pishhevye. Metody opredelenija kolichestva mezofil’ nyh ajerobnyh i fakul’ tativno anajerobnyh mikroorganizmov. URL: https://files.stroyinf.ru 4294840290. pdf.- Data obrashhenija: 15.04.2025. [in Russian]

13. GOST 31747-2012 - Produkty pishhevye. Metody vyjavlenija i opredelenija kolichestva bakterij gruppy kishechnyh palochek (koliformnyh bakterij).

URL: https://meganorm.ru.- Data obrashhenija: 15.04.2025. [in Russian]

14. GOST 10444.12-2013 - Metody vyjavlenija i podscheta kolichestva drozhzhej i plesnevyh gribov. URL: https://meganorm.ru.- Data obrashhenija: 15.04.2025. [in Russian]

15. GOST 31659-2012 (ISO 6579:2002) – Produkty pishhevye Metod vyjavlenija bakterij roda Salmonella. URL: https://files.stroyinf.ru.- Data obrashhenija: 17.04.2025. [in Russian]

16. GOST 31746-2012 – Produkty pishhevye Metody vyjavlenija i opredelenija kolichestva koagulazopolozhitel’ nyh stafilokokkov i Staphylococcus aureus. https://meganorm.ru . Data obrashhenija: 17.04.2025. [in Russian]

17. GOST 32031-2012 Produkty pishhevye. Metody vyjavlenija Listeria monocytogenes v pishhevoj produkcii. https://meganorm.ru.- Data obrashhenija: 17.04.2025. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Мыржыкбаева А.Д.- Phd докторанты, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы, Казахстан, e-mail: aidanadauletkeldi@yandex.ru;

Серикова Ш.- б.ғ.к., Қ.Құлажанов атындағы қазақ технология және бизнес университеті,Астана, Казақстан, e-mail: shynara.serikova@mail.ru;

Хастаева А.Ж.-Phd, қауым.профессор, Қ.Құлажанов атындағы қазақ технология және бизнес университеті, Астана Қазақстан, e-mail: gera_or@mail.ru;

Жамурова В. С. - а/ш.ғ.к қауым.профессор, Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы Қазақстан, e-mail: zhamurova@yandex.kz;

Бектурганова А.А.-т.ғ.к., қауым.профессор, Қ.Құлажанов атындағы қазақ технология және бизнес университеті, Астана Қазақстан, e-mail: 1968al1@mail.ru;

Юсупова Г.Т. - PhD, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Стандарттау, метрология және сертификаттау кафедрасының аға оқытушысы, Астана Қазақстан, e-mail: gauhar_20_90@mail.ru

Information about authors

Myrzhykbayeva A.D.- Phd student, Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aidanadauletkeldi@yandex.ru;

Serikova Sh.- Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: shynara.serikova@mail.ru;

Khastayeva A.Zh.- PhD, ass.professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: gera_or@mail.ru;

Zhamurova V.S.- Candidate of Agricultural Sciences, assoc.professor Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: zhamurova@yandex.kz;

Bekturganova A.A.- Candidate of Technical Sciences, ass.professor, K.Kulazhanov, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: 1968al1@mail.ru;

Yussupova G. T.- PhD, S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, e-mail: gauhar_20_90@mail.ru.

МРНТИ 65.33.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1005**

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ СУХИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ КАЗАХСТАНСКОГО СЫРЬЯ

[1]Ж.Т. Ботбаева✉, [1]А.М. Омаралиева, [2]О.И. Парахина, [1]Г.Е. Есиркеп, [1]М.Т. Агедилова, [3]Ф.Т. Диханбаева, [1]Ж. Нармандах

[1]Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, г. Астана, Казахстан,
[2]Санкт-Петербургского филиала ФГНАУ Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности,
[3]АО «Алматинский технологический университет», г. Алматы, Казахстан
✉*Корреспондент - автор: zhanar.b.t@mail.ru*

В статье приведены данные о получении безглютеновых сухих смесей. В начале выбраны безглютеновые культуры зерна кукурузы и риса районированные по климатическим условиям нашей страны. Все подобранные культуры были проверены на наличие глютена с помощью иммунноферментативного анализатора Rider Multiscan FC.

На основания определения термодинамических параметров плавления согласно, выбран оптимальный режим экструдировании для рисовой и просяной муки.

Экструдирование проводили на техническом двухшнековом экструдере, марки DS32-II – Double-screw testing extruder. Изучена морфология экструдированной кукурузной и рисовой муки, и по микрофотографиям выявлена, что экструзия разрушает их гранулированную структуру и создает связь между крахмалом и свободными липидами в сырье. Разработаны соотношения сухих смесей для получения безглютеновых кондитерских изделий на основе математического моделирования. На основе изучения качественных характеристик отработаны соотношения различных видов муки в составе смесей для кексов (рисовая мука - X_1-24,25%, кукурузная мука - X_2-59,5%, экструзионная мука X_3-16,25%) В результате изучения содержания глютена в сухих смесях из зерновых культур и полученных кондитерских изделиях, выявлено, что глютен не превышает 20 мг/кг. В ходе экспериментов изучена энергетическая ценность безглютеновых кексов (1704/407 кДж/ккал).

Ключевые слова: безглютеновый экструдированный рис, кукуруза, математическое моделирование сухих смесей, кондитерские изделия

ҚАЗАҚСТАН ШИКІЗАТЫНЫҢ НЕГІЗІНДЕ ҰНДЫҚ КОНДИТЕРЛІК ӨНІМДЕР ҮШІН ГЛЮТЕНСІЗ ҚҰРҒАҚ ҰН ҚОСПАЛАРЫН ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

[1]Ж.Т. Ботбаева✉, [1]А.М. Омаралиева, [2]О.И. Парахина, [1]Г.Е. Есиркеп, [1]М.Т. Агедилова, [3]Ф.Т. Диханбаева, [1]Ж. Нармандах

[1]Қ.Құлажанова атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Нан өнеркәсібі федералды мемлекеттік ғылыми-зерттеу институтының Санкт-Петербург филиалы,
[3]«Алматы технологиялық университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан,
e-mail:zhanar.b.t@mail.ru

Мақалада глютенсіз құрғақ қоспаларды өндіру туралы деректер келтірілген. Бастапқыда жүгері мен күріштің глютенсіз дәнді дақылдары таңдалып, еліміздің климаттық жағдайларына сәйкес аудандастырылған. Барлық таңдалған дақылдар Rider Multiscan FC ELISA анализаторы арқылы глютеннің болуына сыналған.

Балқытудың термодинамикалық параметрлерін анықтау негізінде күріш пен тары ұны үшін оңтайлы экструзия режимі таңдалды. Экструзия DS32-II маркалы қос бұрандалы техникалық экструдерде орындалды - бұрандалы экструдер DS32-II - Double- screw testing extruder. Экструдталған жүгері мен күріш ұнының морфологиясы зерттелді және микросуреттер экструзия олардың түйіршікті құрылымын бұзып, шикізаттағы крахмал мен бос липидтер арасында байланыс түзетіні анықталды. Математикалық модельдеу негізінде глютенсіз кондитерлік өнімдерді алу үшін құрғақ қос-

палардың арақатынастары жасалған. Сапалық сипаттамаларды зерттеу негізінде тоқаш қоспаларының құрамындағы ұнның әртүрлі түрлерінің арақатынастары әзірленді (күріш ұны - X1-24,25%, жүгері ұны - X2-59,5%, экструзия ұны X3-16,25%). Дәнді дақылдардың құрғақ қоспаларындағы және одан алынатын кондитерлік өнімдердегі клейковинаның құрамын зерттеу нәтижесінде глютеннің 20 мг/кг аспайтыны анықталды. Тәжірибе барысында глютенсіз тоқаштардың энергетикалық құндылығы зерттелді (1704/407 кДж/ккал).

Түйін сөздер: глютенсіз экструдталған күріш, жүгері, құрғақ қоспаларды математикалық модельдеу, кондитерлік өнімдер.

TECHNOLOGY FOR PRODUCING GLUTEN-FREE DRY MIXES FOR FLOUR CONFECTIONERY BASED ON KAZAKHSTAN RAW MATERIALS

[1]Zh.T. Botbaeva✉, [1]A.M. Omaralieva, [2]O.I. Parakhina, [1]G.E. Esirkep, [1]M.T. Ageilova, [3]F.T. Dikhanbaeva, [1]Zh. Narmandakh

[1]K. Kulajanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[2]St. Petersburg branch of the Federal State Scientific-Research Institute of Bakery Industry,
[3]JSC "Almaty Technological University", Almaty, Kazakhstan,
e-mail:zhanar.b.t@mail.ru.

The article presents data on obtaining gluten-free dry mixes. At the beginning, gluten-free crops of corn and rice grains zoned according to the climatic conditions of our country were selected. All selected crops were tested for the presence of gluten using the Rider Multiscan FC enzyme-linked immunosorbent analyzer.

Based on the determination of the thermodynamic parameters of melting, according to, the optimal extrusion mode for rice and millet flour was selected.

Extrusion was carried out on a technical twin-screw extruder, brand DS32-II – Double-screw testing extruder. The morphology of extruded corn and rice flour was studied, and microphotographs revealed that extrusion destroys their granular structure and creates a bond between starch and free lipids in the raw materials. The ratios of dry mixes for obtaining gluten-free confectionery products based on mathematical modeling were developed. Based on the study of quality characteristics, the ratios of different types of flour in the composition of muffin mixes were developed (rice flour - X1-24.25%, corn flour - X2-59.5%, extruded flour X3-16.25%). As a result of studying the gluten content in dry mixes from grain crops and the resulting confectionery products, it was found that gluten does not exceed 20 mg / kg. During the experiments, the energy value of gluten-free muffins was studied (1704/407 kJ / kcal).

Key words: gluten-free extruded rice, corn, mathematical modeling of dry mixes, confectionery products

Введение. В настоящее время одним из актуальных направлений в профилактике генетических и аллергических заболеваний является специализированное (диетическое лечебное и диетическое профилактическое) и функциональное питание, так как оно определяет здоровье населения.

Во всем мире, и в Казахстане, в том числе, прогрессируют алиментарно-зависимые заболевания, которые возникают от несбалансированности рациона питания. Одно из таких заболеваний – целиакия (глютеновая энтеропатия) - хроническое аутоиммунное заболевание, поражающее тонкую кишку генетически предрасположенных пациентов в ответ на контакт с токсичным для них белком злаков - глютеном [1] Соблюдать безглютеновую диету необходимо на протяжении всей жизни [2]. Только строгое пожизненное соблюдение безглютеновой диеты обеспечивает качество жизни больного, адекватное физическое и интеллектуальное развитие, а также предотвращает развитие осложнений и может обеспечить нормальный уровень жизни больных целиакией.

На мировом рынке интерес к безглютеновой продукции возник изначально именно как продуктам, позволяющим решить конкретную медицинскую проблему, а именно непереносимость одного из компонентов белка - глютена. К тому же развивается производство специализированных продуктов питания с ингредиентами, присутствие которых в пище недопустимо по определенным медицинским показателям (аллергены, некоторые типы белков, олигосахаридов, полисахаридов и др.). К сожалению, в Казахстане безглютеновые продукты привозят из Европы и стоят они дорого и продаются далеко не везде. Круг потребителей безглютеновых мучных изделий не широк, но необходимо обеспечивать данную категорию людей специализированными продуктами питания постоянно.

Многие исследовательские компании включают рост спроса на безглютеновые продукты в число наиболее популярных трендов мирового рынка продуктов питания. Чаще всего производство безглютеновой продукции рассматривается как составная часть тренда как «здоровое питание».

В связи с потребительским спросом на безглютеновые продукты, необходимо развивать собственное производство такой продукции, а также экспортировать ее в ближнее зарубежье. Очень любопытно, что существенным фактором роста спроса на безглютеновые продукты стало мнение потребителей о большей пользе таких продуктов, нежели обычных. Кроме того, достаточно часто безглютеновые продукты воспринимаются как продукты, способствующие похудению.

При лечении болезни, назначенная диета основывается на исключении из рациона питания продуктов, содержащих как явный глютен, так и скрытый глютен. Глютен содержится только в злаковых культурах, например таких как пшеница, овес, тритикале, рожь, ячмень, которые считаются основным сырьем при производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. Поэтому при производстве безглютеновых продуктов основное сырье из злаковых культур необходимо заменить на сырье, не содержащее глютеновую фракцию белка [3].

За последнее десятилетие потребительский спрос на безглютеновые продукты возрастает, как в нашей стране, так и за рубежом, необходимо развивать собственное производство такой продукции, а также экспортировать ее в ближнее зарубежье. В настоящее время в нашей стране зарегистрированы пределах 600 больных разной возрастной категории, которых необходимо обеспечить отечественной продукцией с маркировкой «gluten free».

В настоящее время в Казахстане в достаточном объеме выращиваются все зерновые, зернобобовые и масличные культуры, такие как гречиха, кукуруза, рис, пшено, лен и др., которые могут быть полноценным сырьем для получения муки с целью производства безглютеновых продуктов. В Казахстане имеется возможность возделывать и разрабатывать на основе сельскохозяйственных злаковых культур технологию получения безглютеновой продукции, работы в данном направлении проводятся не в должном объеме.

В связи с вышеизложенным, учитывая разнообразие выращиваемого в Казахстане зернового сырья, необходимо создавать отечественную инновационную технологию производства безглютеновых продуктов, что является актуальной задачей для науки Казахстана в целях насыщения внутреннего рынка и создания конкурентоспособной продукции с более низкой стоимостью по сравнению с импортной.

Целью данной работы является разработка технологии производства безглютеновых мучных сухих смесей для производства мучных кондитерских изделий на основе отечественного сырья.

Задачей является проведение исследований по определению оптимальных соотношении компонентов для создания сухих смесей для производства на их основе безглютеновых мучных кондитерских изделий. Проведение исследований по качеству и химическому составу полученных безглютеновых продуктов из сухих смесей по разработанной технологии.

Основными технологическими свойствами экструдатов, в основе которых лежит крахмал, является способность к быстрому растворению и поглощению воды. Процесс приготовления сухих завтраков и смесей сухих каш из экструдированного сырья сводится к простой заливке смесей горячей водой. Технология производства экструдатов включает процесс измельчения, в результате которого образуется сыпучий порошкообразный материал. Экструдированная мука – это продукт с высокой биологической ценностью. Увеличение срока годности, а также поддержание свежести и микробиологической стабильности продуктов достигается за счет уменьшения показателей активности воды. В настоящее разработка технологии с использованием зернового сырья и семян, прошедших экструзионную обработку, является одним из инновационных направлений расширения ассортимента изделий, а также коррекции пищевой и биологической ценности продуктов, придания им функциональных свойств. Экструдированная смесь зерна пшеницы содержит более высокий процент сырого протеина, массовой доли жира, содержание клечатки и золы и безазотистых экстрактивных веществ выше, чем до экструдирования.

При разработке современных технологий глубокой переработки зерновых культур важным аспектом является изучение морфологической структуры сырья и готового продукта, так как она в значительной степени влияет на технологический процесс производства продукции. Размеры частиц определяют функциональные свойства продукта, что требует особого внимания исследователей [4].

Учеными АО «Казахского университет технологии и бизнеса» проведены исследования и проанализирована проблема распространения целиакии среди населения, изучена потребности жителей Казахстана в безглютеновой продукции путем проведения социологического опроса населения методом анкетирования. Авторы провели эксперимент, позволяющий обобщить материалы исследований в виде математической модели и дать им статистическую оценку при значительном сокращении количеств опытов, определили оптимальные условия выполнения однородного смешивания экструдируемого зерна и вводимого дозатором раствора минеральных солей.

Несмотря на то, что в мире разработаны различные технологии производства безглютеновых продуктов, которые выпускаются в промышленных масштабах, исследования по разработке новых технологий и оптимизации, существующих в соответствии с требованиями рынков, является актуальной задачей.

Таким образом, анализ литературных источников и патентные исследования показали, что одним из перспективных направлений научных исследований во всем мире является разработка высокоэффективных технологий производства безглютеновых продуктов из отечественного сырья, предназначенных для потребления больных целиакией. Разрабатываемая технология позволяет решить проблему обеспечения больных целиакией безглютеновой продукцией.

Материалы и методы. Объекты исследований*:* зерно кукурузы, риса, экструдированные мучные смеси из кукурузы и риса, а также кексы на их основе.

Отбор проб зерновых культур - ГОСТ 13586.3-2015, ГОСТ 29142-91. Технологические свойства зерновых и масличных культур определены по следующим стандартам: кукуруза – СТ РК 2118-2011; рис - ГОСТ 6293-90. Химический состав: содержание белка - ГОСТ 10846-91; содержание жира - ГОСТ 32749-2014; содержание клетчатки - ГОСТ 32040-2012; зольность - ГОСТ 10847-2019; содержание крахмала - ГОСТ 10845-98; определение кислотности - ГОСТ 26971- 86, ГОСТ 10844-74, определение щелочности – ГОСТ 5898-2022; определение плотности - ГОСТ 5902-80; определение общей золы в кондитерских изделиях - ГОСТ Р 51411-99, определение глютена в зерновых культурах и продуктах их переработки - методика R-Biopharm AG на тест-систему Ridascreen Gliadin AOAC Research Institute Performance Tested Method 12060 и на анализаторе Rider Multiscan FC.

При изучении качественных характеристик безглютеновой муки были оценены в соответствии со стандартами: рисовая – ГОСТ 31645-2012; мука кукурузная - ГОСТ 14176-2022. Водопоглотительная способность муки по общепринятой методике [5] Kiryukhina & Dubtsov & Dubtsova, 2006, №11, pp.363). В качестве дополнительных материалов были использованы кукурузный крахмал - по ГОСТ 32159-2013 и мука пшеничная высшего сорта по ГОСТ 26574-2017. Оценка качества кексов по ГОСТ 15052-2014.

Для изучения изучения пробных лабораторных выпечек и оптимизация рецептур по математическому моделированию выпекали кондитерских изделий согласно [6,9], варианты комбинирования состава смесей для получения безглютеновых кексов в представлены таблице 1. Для определения процентного соотношения компонентов, входящих в состав смесей для получения безглютеновых кексов, было предложено математическое моделирование. Для проведения процесса моделирования и оптимизации рецептурного состава безглютеновой смеси в качестве основного сырья взяты рисовая, кукурузная и кукурузная экструзионная мука. Реализация и планирование полнофакторного эксперимента по определенным критериям оптимизации производились согласно матрице Шеффе [7-9]. Математическое планирование экспериментов и матрица приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Процентное соотношение компонентов, входящих в состав смесей для получения безглютеновых кексов

Образец №	**Мука рисовая, %**	**Мука кукурузная , %**	**Мука кукурузная, экструдированная %**
1	2	3	4
1	100%		
2		100%	
3			100%
4	50%	50%	
5	50%		50%
6		50%	50%
7	25%	75%	
8	25%		75%
9		25%	75%
10	75%	25%	
11	75%		25%
12		75%	25%
13	50%	25%	25%
14	25%	50%	25%
15	25%	25%	50%

Как видно из таблицы 1, для моделирования и оптимизации рецептур – соотношения сухих смесей, применена матрица экспериментальных данных.

Статистическая обработка материалов и методика изучения углеводного состава для установления пищевой ценности продуктов самая подходящая методика.

Углеводный состав полученных безглютеновых кондитерских изделий изучили по ГОСТ 25832-89 Изделия хлебобулочные диетические. Технические условия. На основе полученных результатов установлена пищевая ценность безглютеновых изделий.

Статистическая обработка экспериментов осуществлялась в соответствии с композиционным планом трехфакторного эксперимента по программе персонального компьютера IBM с различными характеристиками (с тактовой частотой 233 МГц и выше). Язык програмирования Object Pascal, среда Borland Delphi 7. IBM – совместимые ПК с тактовой частотой 233 МГц и выше. Программу поддерживает операционная система - Microsoft Windows XP, 7, 8,10;

Подготовка сырья и технология экструдирования сухих смесей состоит из экструзионной технологии, которая самая распространенная методика получения сухих смесей, с пористой макроструктурой. Но нужно установить температурный режим для получения экструзионных продуктов из различных безглютеновых культур по методике из литературного обзора [10].

Изучены качественные характеристики отобранных безглютеновых культур для исследования, которые описана однородность, равномерная текстура, вкус и цвет, а также запах. Для изучения выбраны безглютеновые культуры - зерна кукурузы и риса, раинированные по климатическим условиям Республики Казахстан.

Для получения безглютеновых мучных кондитерских изделий по рекомендуемому составу сухих смесей проведена пробная лабораторная выпечка кексов, в ходе которой определялся комплексный показатель их качества. При оптимизации программа выдает минимальный и максимальный состав, но мы выбираем состав, основанный на результатах качественных показателей.

Результаты и обсуждения. Для расчета энергетической и пищевой ценности безглютеновых изделий необходимо изучить пищевую ценность. Углеводы занимают центральное место в обмене веществ. И хотя углеводы формально нельзя отнести к незаменимым факторам питания (углеводы могут синтезироваться в организме человека), они составляют заметную долю в суточном рационе - 250-500 г, или 50-60% калорийности пищи и более половины суточных энерготрат. Большая часть глюкозы используется организмом для выработки энергии. Потребность мозга в глюкозе в сутки достигает 120 г (около 20% пула глюкозы), мышечной ткани - 30-100 г (5–16,5%), эритроцитов, семенников, клеток мозгового вещества почек – 40 г (6,5%), жировой ткани и кожи - 10%. Следовательно, в норме суточная потребность организма человека в глюкозе может составлять 600 г [11].

На этапе оптимизации параметров технологического процесса экструдирования зерна риса особый интерес представляет температура экструдирования, как характеристика, определяющая основные параметры экструдирования зерна риса, влияющие на влажность готовой продукции. Среднее значение влажности готовой продукции приходится на участок, где температура на входе составляет 70^0С, температура внутри цилиндра $99,2^0$С, а температура на выходе экструдера – $130,8^0$С, в этом промежутке влажность готовой продукции составляет 6,5% [12]. Установлены параметры экструдирования кукурузной цельносмолотой муки с целью разработки соотношения сухих смесей. При изучении влажности температура экструдирования зерна кукурузы в зоне входа в экструдере составляет 120^0С, температура экструдирования в зоне пластификации и сжатия - 145^0С, а температура экструдирования в зоне выхода составила $165,0^0$С. При этих параметрах коэффициент экспондирования полученного продукта очень высокий, что дошло до 10. В результате оптимизированы температурные параметры экструзии для риса: на входе составляет 70^0С, температура внутри цилиндра $99,2^0$ С и температура на выходе экструдера $130,8^0$ С, в этом промежутке влажность готовой продукции составляет 6,5%. Для

влажности готовой продукции наилучшим показателем является значение 6,7% для риса, при этом параметры расчета оптимизации составляют: 60,7 ^{0}С температура на входе, 80 ^{0}С температура внутри цилиндра и 118,5 ^{0}С температура на выходе из экструдера.

Результаты органолептической оценки кексов по всем оптимизированным вариантам представлены, в виде профилограмм на рисунке 1.

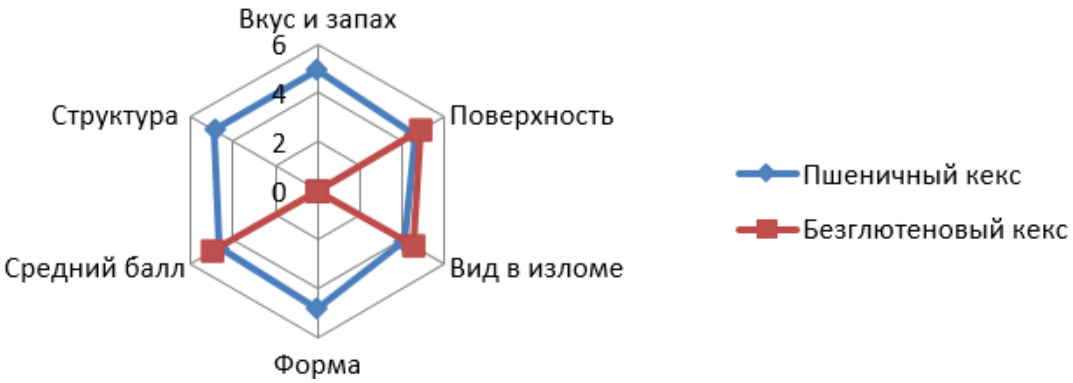


Рис.1 - Профилограмма органолептических показателей кекса из смесей с различным соотношением (кукурузная рисовая и экструзионная кукурузная смесь)

Из профилограмм, представленных на рисунке 1 видно, что использование в рецептуре экструзионной муки существенно улучшает органолептические показатели, особенно вкус и запах, по сравнению с контролем. Из всех вариантов эксперимента был отмечен лучший образец по комплексу органолептических показателей из смеси рисовой, кукурузной и кукурузной экструзионной муки в соотношении X_1-24,25%, X_2-59,5%, X_3-16,25%) соответственно, который набрал 4,9 баллов.

Таким образом, нами предложены соотношения рисовой, кукурузной и экструдированной кукурузной видов муки в составе смеси, которую можно разрабатывать и предлагать для производства отечественного продукта из беглютенового сырья.

Таким образом, использование экструдированной кукурузной муки в сочетании с рисовой и обычной кукурузной мукой позволило получить безглютеновый продукт, сопоставимый по качеству с традиционными пшеничными изделиями, а в ряде аспектов - даже превосходящий их.

Диаграмма показывает, что по большинству параметров - таких как вкус и запах, поверхность, вид в изломе и средний балл - безглютеновый кекс демонстрирует схожие или даже лучшие показатели по сравнению с пшеничным. Особенно заметно преимущество безглютенового образца по параметру форма, что свидетельствует о хорошем подъёме и устойчивости изделий на основе смеси рисовой, кукурузной и экструдированной муки.

Несмотря на незначительное отставание по структуре, безглютеновый кекс получил высокую среднюю органолептическую оценку, приближающуюся к максимальной (4,9 баллов), что подтверждает успешность подобранной рецептуры.

Таким образом, использование экструдированной кукурузной муки в сочетании с рисовой и обычной кукурузной мукой позволило получить безглютеновый продукт, сопоставимый по качеству с традиционными пшеничными изделиями, а в ряде аспектов — даже превосходящий их.

Химический состав был рассчитан и данные сведены в таблицу 2. В таблице приведены данные по пищевой ценности кексов на смесях с добавлением крахмала и обогащенных пектином.

Таблица 2 - Влияние вносимых компонентов на химический состав и энергетическую ценность изделий

Пищевые вещества	Кексы безглютеновые из сухих смесей		
	с добавлением крахмала	без добавок	с добавлением пектина
Углеводы,%	54,2	71,3	65,8
Жиры,%	15,1	11,2	15,2
Белки,%	6	6,1	5,8
Витамин А (мкг)	17	24	21
Витамин Е (мг)	0,79	0,11	0,09
Витамин В2 (рибофлавин,мг)	0,069	0,12	0,1
Витамин В3 (РР, ниацин, мг)	0,89	1,4	1,2
Витамин В6 (мг)	0,049	0,07	0,065
Фолиевая кислота (мкг)	11	16	13
Витамин В12 (мкг)	0,02	0,031	0,019
Витамин С (мг)	0,5	0,68	0,59
Кальций (Ca, мг)	18	22	24
Фосфор (P, мг)	71	96	81
Калий (K, мг)	110	146	131
Натрий (Na, мг)	281	311	291
Магний (Mg, мг)	0,62	1,1	0,81
Цинк (Zn, мг)	0,4	0,56	0,42
Марганец (Mn, мг)	0,05	0,075	0,06
Селен (Se, мкг)	2,1	3,1	2,6
Энергетическая ценность, кДж/ккал	1520/363	1641/392	1704/407

Как видно из данных таблицы 2, можно сделать вывод, что содержание углеводов в кексах без добавления обогатителей значительно ниже по сравнению с образцами, в которые добавлены пектин, т.к. пектин повышает энергетическую ценность кондитерских изделий.

Данная таблица отражает сравнительные показатели химического состава безглютеновых кексов, приготовленных из сухих смесей с добавлением крахмала, без дополнительных ингредиентов и с добавлением пектина. В таблице приведены данные по содержанию основных пищевых веществ (углеводов, жиров, белков) и энергетической ценности, а также усредненные значения витаминов ми минеральных элементов

Согласно представленным данным, наибольшая доля углеводов наблюдается в кексах без добавок (71,3) что обуславливает их более высокую энергетическую ценность по сравнению с образцами с крахмалом и пектином. Жировой состав варьирует от 11,2 % (без добавок) до 15,2 (с пектином). Белковая составляющая остается

относительно стабильной во всех образцах (5,8-6,1%).

Анализ витаминного состава показывает, что кексы без добавок содержат несколько больше витаминов группы В (тиамин, рибофлавин, ниацин), а также фолиевой кислоты, что может быть связано с использованием исходного сырья. Витамины А,Е и С присутствует в умеренных количествах, преимущественных за счет добавления яиц и растительных жиров

Минеральный состав указывает на преобладание калия натрия и фосфора. Кексы с добавлением пектина характеризуются несколько более высоким содержанием кальция и магния, что объясняется технологическим особенностями рецептуры. Наибольшее количество железа и цинка и селена отмечается в образцах без добавок, что делает их более ценными с точки зрения микроэлементного состава.

На основе полученных данных углеводного состава можно сделать вывод, что высокий углеводный показатель отмечен в кексах, обогащенных пектином.

В результате экспериментальных данных, нами установлена массовая доля углеводов в безглютеновых мучных кондитерских изделиях. В ходе экспериментов выявлено, что из трех образцов кекса, самой высокой энергетической ценностью обладают кексы с добавлением пектина, что составляет 1704/407 кДж/ккал.

На основе сравнительного анализа показывает что обогащение рецептуры кексов различными компонентами (крахмал, пектин) влияет не только на энергетическую ценность и макронутриентный состав, но на содержание витаминов и минералов. Это подтверждает важность подбора ингредиентов при разработке безглютеновых изделий с целью повышения и х пищевой и биологической ценности.

Таким образом, можно сделать вывод, что с помощью различных добавок, можно повысить пищевую и энергетическую ценность безглютеновых мучных кондитерских изделий.

Выводы. Таким образом, нами выбраны безглютеновые виды зерна кукурузы и риса, районированные по климатическим условиям нашей страны. Прежде чем отработать температурный режим в трех параметрах на экструдере, необходимо рассмотреть режимы клейстеризации и желатинизации. Степень желатинизации исследованы на диферинциально-сканирующем колориметре. На основании определения термодинамических параметров плавления и с учетом обеспечения плавления амилозно-липидного комплекса, ориентировочно определены температурные границы экструдирования безглютеновой муки и выбран оптимальный режим экструдирования для рисовой, кукурузной муки. Экструдирование проводили на двухшнековом экструдере, марки DS32-II – Double- screw testing extruder. Для оптимизации технологических параметров применено математическое моделирование на основе сетчатых планов Шеффе. При изучении влажности температура экструдирования в зоне входа в экструдере составляет 120^0С, температура экструдирования в зоне пластификации и сжатия - 145^0С, а температура экструдирования в зоне выхода - $165,0^0$С. Для кукурузы при этих параметрах коэффициент экспондирования полученного продукта очень высокий (до 10). В результате исследований оптимизированы температурные параметры экструзии для риса: на входе - 70^0С, внутри цилиндра - $99,2^0$ С, на выходе экструдера - $130,8^0$ С, в этом температурном промежутке влажность готовой продукции составляет 6,5%. Учитывая, что для влажности готовой продукции наилучшим показателем является значение 6,7% (для риса), параметры расчета оптимизации температурного режима: 60,7 ^{0}С - на входе, 80 ^{0}С - внутри цилиндра и 118,5 ^{0}С - на выходе из экструдера.

Изучен химический состав экструдированной муки кукурузы и риса. Изучена морфология экструдированной кукурузной и рисовой муки, и по микрофотографиям выявлена, что экструзия разрушает их гранулированную структуру и создает связь между крахмалом и свободными липидами в сырье, что дает возможность получить высококачественную продукцию для сельского хозяйства. На основе математического моделирования разработаны соотношения разных ви-

дов муки в составе смесей для получения безглютеновых изделий. На основе изучения качественных характеристик отработаны соотношения разных видов муки в составе смесей для кексов (рисовая мука - X_1-24,25%, кукурузная мука - X_2-59,5%, экструзионная мука X_3-16,25%) и печенье (рисовая мука - X_1-61,75%, кукурузная мука - X_2-38,25%).

Рассчитана пищевая и энергетическая ценность безглютеновой продукции. В ходе экспериментов выявлены, что из трех образцов кекса, самой большей энергетической ценностью обладает кексы с добавлением пектина, что составляет 1704/407 кДж/ккал. В результате изучения содержания глютена в мучных кондитерских изделиях и сухих смесях из зерновых культур, выявлено, что содержание глютена не превышает 20 мг на 1 кг продукта.

Перспективы дальнейшего исследования проблемы мы видим в расширении ассортимента безглютеновой продукции, совершенствовании технологии производства, а также в увеличении спроса данного сегмента. Таким образом, исследования в этом направлении могут быть продолжены, так как это способствует развитию науки Казахстана.

Литература

1. Rai S., Kaur A., Chopra C. S. Gluten-Free Products for Celiac Susceptible People. Frontiers in Nutrition // December. - 2018. - Vol.5:116. P.1-23. DOI 10.3389/fnut.2018.00116.

2. Khmelevskaya A. V., Burnatseva A. A., Gusalova M. I., Karaeva I. T. Production of Gluten-free Bread Based on Rational Use of Natural Resources// KnE Life Sciences, International Scientific and Practical Conference “AgroSMART - Smart Solutions for Agriculture. -2019. -P. 31-39. DOI 10.18502/kls.v4i14.5576.

3. Šmídová Z., Rysová J. Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology // Foods. - 2022. - Vol.11 (3). – C.1–23. DOI 10.3390/foods11030480.

4. Chanvrier H., Pillin C. N., Vandeputte G., Haiduc A., Leloup V., Gumy J.-C. Impact of extrusion parameters on the properties of rice products: A physicochemical and X-ray tomography study // Food Structure. -2015. - Vol.6. -P.29-40. DOI 10.1016/j.foostr.2015.06.004.

5. Кирюхина М., Дубцов Г., Дубцова Г. Новые сорта хлебобулочных изделий для профилактического и лечебного питания // Хлебобулочные изделия. - 2006. - № 11. - 363 с.

6. Brahmaa S., Weier S. A., Rose D. J. Effects of selected extrusion parameters on physicochemical properties and in vitro starch digestibility and β-glucan extractability of whole grain oats // Journal of Cereal Science. - 2016. - Vol.70. -P.85–90. DOI 10.1016/j.jcs.2016.05.001.

7 Zobel H. F. Starch Crystal Transformations and Their Industrial Importance // Starch/Stärke. - 1988. - Vol.40 (1). - P.1-7. DOI 10.1002/star.19880400102.

8. Павлов А.В. Сборник рецептур мучных кондитерских и хлебобулочных изделий для предприятий общественного питания /Гидрометеоиздат. - 1998. - С.63-64. - 298с. ISBN 978-5-4377-0101-0.

9. Атанов С.К., Ботбаева Ж.Т., Муслимов Н.Ж., Байгенжинов К.А., Издибаева Г.У. Моделировании и оптимизации рецептур безглютеновой смеси для производства кондитерских изделий//Свидетельство о внесении в госужарственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом № 4469. - 2019. - С.3.

10 Краус С.В. Совершенствование технологии экструзионной переработки крахмалосодержащего зернового сырья /Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук 2005-4/12979 Москва. -2004. - 55 с.

11. Stoin D.; Jianu, C.; Misca C.; Bujanca G.; Radulescu L., Effect of almond flour on nutritional, sensory

and bakery characteristics of gluten-free muffins // 18th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference SGEM. - 2018. - Vol.18 (6.4). DOI 10.5593/sgem2018V/6.4/S08.017.

12. Ботбаева Ж.Т., Коптлеуова Т.М.,.Байкенов А.О., Байгенжинов К.А,. Издибаева Г,. Елеукенова К.А. Технологические аспекты производства безглютеновых сухих смесей из различных видов отечественного сырья //Новости Науки Казахстана. Алматы. -2019. -№ 4(142). - С.167-179.

References

1. Rai S., Kaur A., Chopra C. S. Gluten-Free Products for Celiac Susceptible People. Frontiers in Nutrition // December. - 2018. - Vol.5:116. P.1-23. DOI 10.3389/fnut.2018.00116.

2. Khmelevskaya A. V., Burnatseva A. A., Gusalova M. I., Karaeva I. T. Production of Gluten-free Bread Based on Rational Use of Natural Resources// KnE Life Sciences, International Scientific and Practical Conference “AgroSMART - Smart Solutions for Agriculture. -2019. -P. 31-39. DOI 10.18502/kls.v4i14.5576.

3. Šmídová Z., Rysová J. Gluten-Free Bread and Bakery Products Technology // Foods. - 2022. - Vol.11 (3). - C.1-23. DOI 10.3390/foods11030480.

4. Chanvrier H., Pillin C. N., Vandeputte G., Haiduc A., Leloup V., Gumy J.-C. Impact of extrusion parameters on the properties of rice products: A physicochemical and X-ray tomography study // Food Structure. -2015. - Vol.6. -P.29-40. DOI 10.1016/j.foostr.2015.06.004

5. Kirjuhina M., Dubcov G., Dubcova G. Novye sorta hlebobulochnyh izdelij dlja profilakticheskogo i lechebnogo pitanija // Hlebobulochnye izdelija. - 2006. - № 11. - 363 s. [in Russian]

6. Brahmaa S., Weier S. A., Rose D. J. Effects of selected extrusion parameters on physicochemical properties and in vitro starch digestibility and β-glucan extractability of whole grain oats // Journal of Cereal Science. - 2016. - Vol.70. -P.85–90. DOI 10.1016/j.jcs.2016.05.001.

7 Zobel H. F. Starch Crystal Transformations and Their Industrial Importance // Starch/Stärke. - 1988. - Vol.40 (1). - P.1-7. DOI 10.1002/star.19880400102.

8. Pavlov A.V. Sbornik receptur muchnyh konditerskih i hlebobulochnyh izdelij dlja predprijatij obshhestvennogo pitanija /Gidrometeoizdat. - 1998. - S.63-64. - 298s. ISBN 978-5-4377-0101-0. [in Russian]

9. Atanov S.K., Botbaeva Zh.T., Muslimov N.Zh., Bajgenzhinov K.A., Izdibaeva G.U. Modelirovanii i optimizacii receptur bezgljutenovoj smesi dlja proizvodstva konditerskih izdelij//Svidetel’ stvo o vnesenii v gosuzharstvennyj reestr prav na ob#ekty, ohranjaemye avtorskim pravom № 4469. - 2019. - S.3. [in Russian]

10 Kraus S.V. Sovershenstvovanie tehnologii jekstruzionnoj pererabotki krahmalosoderzhashhego zernovogo syr’ ja /Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehnicheskih nauk 2005-4/12979 Moskva. -2004. - 55s. [in Russian]

11. Stoin D.; Jianu, C.; Misca C.; Bujanca G.; Radulescu L., Effect of almond flour on nutritional, sensory and bakery characteristics of gluten-free muffins // 18th International Multidisciplinary Scientific Geo-Conference SGEM. - 2018. - Vol.18 (6.4). DOI 10.5593/sgem2018V/6.4/S08.017.

12. Botbaeva Zh.T., Koptleuova T.M.,.Bajkenov A.O., Bajgenzhinov K.A,. Izdibaeva G,. Eleukenova K.A. Tehnologicheskie aspekty proizvodstva bezgljutenovyh suhih smesej iz razlichnyh vidov otechestvennogo syr’ ja //Novosti Nauki Kazahstana. Almaty. -2019. -№ 4(142). - C.167-179.

Сведения об авторах

Ботбаева Ж.Т. - кандидат биологических наук, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: zhanar.b.t88@gmail.com;

Омаралиева А.М.- кандидат технических наук, доцент, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: aigul-omar@mail.ru;

Парахина О.И. – кандидат технических наук, Санкт-Петербургский филиал ФГНАУ Научно- исследовательский институт хлебопекарной промышленности, e-mail: o.parakhina@gosniihp.ru;

Есиркеп Г.Е.- кандидат технических наук, доцент, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: milana.anar@mail.ru;

Диханбаева Ф. Т.- д.т.н., профессор, Алматинский Технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: fatima6363@mail.ru;

Агедилова М.Т., кандидат химических наук, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: amt5@yandex.ru;

Нармандах Ж. - магистр, сеньор-лектор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: zhupar10_89@mail.ru.

Information about the authors

Botbayeva Zh.T. - Candidate of Biological Sciences, K. Kulazhonov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanar.b.t88@gmail.com;

Omaraliyeva A.M.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhonov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: aigul-omar@mail.ru;

Parakhina O.I. - Candidate of Technical Sciences, St. Petersburg branch of the Federal State Scientific Agrarian University Research Institute of the Baking Industry, e-mail: o.parakhina@gosniihp.ru;

Yesirkep G.E.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhonov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: milana.anar@mail.ru;

Dikhanbayeva F.T.- d.t.n., professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazahstan, e-mail: fatima6363@mail.ru;

Agedilova M.T. - Candidate of Chemical Sciences, K. Kulazhonov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: amt5@yandex.ru;

Narmandakh Zh. - Master, Senior Lecturer, K. Kulazhonov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhupar10_89@mail.ru.

ҒТАМР 65.29.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1090**

ТҮРЛІ ДИСПЕРСИЯЛЫ «ҚОЖА ЭЛИТА» ТРИТИКАЛЕ СОРТЫНЫҢ БЕТІНІҢ МОРФОЛОГИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

А.И. Изтаев, М.А. Якияева✉, Б.А. Изтаев, Ш.А. Турсунбаева, Р.Б. Мухтарханова, М.Н. Мамыраев, М.Н. Рахымбаева

Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

✉*Корреспондент-автор: yamadina88@mail.ru*

Жұмыста «Қожа Элита» сортының тритикале дәнінің әр түрлі дәрежедегі ұнтақтаудағы беткі морфологиясын зерттеу ұсынылған. Зерттеудің мақсаты ұн тартудың технологиялық параметрлерін жақсарту үшін ұнтақтау дисперсиясының астық бетінің микроқұрылымына әсерін анықтау болды. Талдау үшін визуализацияның жоғары ажыратымдылығын қамтамасыз ететін Quanta 3D 200i (FEI) сканерлеуші электрондық микроскоп пайдаланылды. Зерттеу жоғары вакуум жағдайында 15 кВ жеделдету кернеуінде және 13–16 мм жұмыс қашықтығында жүргізілді. Ұнтақтау дәрежесі әртүрлі сегіз үлгі зерттелді: ірі (CD-1), ұсақ, ұсақ және орташа ұнтақтау. Әрбір үлгі үшін қосымша электронды детектордың көмегімен кемінде екі микросурет алынды. Нәтижелер ұнтақтау дәрежесі дән бетінің морфологиясына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті, эндосперм мен қабықтың құрылымындағы айырмашылықтарды көрсетеді. Алынған мәліметтер ұн сапасын жақсартуға және тамақ өнеркәсібінде дақылды пайдалануды кеңейтуге көмектесетін тритикале өңдеудің технологиялық процестерін оңтайландыру үшін маңызды. Жұмыс астықтың микроқұрылымы мен оның технологиялық қасиеттері арасындағы байланысты түсінуге ықпал етеді, әрі қарай зерттеулер мен практикалық енгізуге негіз болады.

Түйін сөздер: тритикале сорты «Қожа Элита», сканерлік электронды микроскопия, бетінің морфологиясы, ұнтақтану дәрежесі, дисперсиясы, микроқұрылым

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ТРИТИКАЛЕ СОРТА «ҚОЖА ЭЛИТА» РАЗНОЙ ДИСПЕРСНОСТИ

А.И. Изтаев, М.А. Якияева✉, Б.А. Изтаев, Ш.А. Турсунбаева, Р.Б. Мухтарханова, М.Н. Мамыраев, М.Н. Рахымбаева

Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан,
e-mail: yamadina88@mail.ru

В работе представлено исследование морфологии поверхности зерна тритикале сорта «Қожа Элита» при различных степенях помола. Целью исследования являлось выявление влияния дисперсности измельчения на микроструктуру поверхности зерна с целью улучшения технологических параметров мукомольного производства. Для анализа использован сканирующий электронный микроскоп Quanta 3D 200i (FEI), обеспечивающий высокое разрешение визуализации. Исследование проводилось в условиях высокого вакуума при ускоряющем напряжении 15 кВ и рабочем расстоянии 13-16 мм. Были изучены восемь образцов с различной степенью измельчения: грубый (CD-1), мелкий, тонкодисперсный и средний помол. Для каждого образца получено не менее двух микроснимков с использованием детектора вторичных электронов. Результаты показали, что степень помола существенно влияет на морфологию поверхности зерна, отражая различия в структуре эндосперма и оболочки. Полученные данные важны для оптимизации технологических процессов переработки тритикале, что способствует улучшению качества муки и расширению применения культуры в пищевой промышленности. Работа вносит вклад в понимание взаимосвязи микроструктуры зерна и его технологических свойств, обеспечивая базу для дальнейших исследований и практического внедрения.

Ключевые слова: тритикале сорта «Қожа Элита», сканирующая электронная микроскопия, морфология поверхности, степень помола, дисперсность, микроструктура

STUDY OF SURFACE MORPHOLOGY OF TRITICALE VARIETY ”KOZHA ELITA” OF DIFFERENT DISPERSION

A.I. Iztayev, M.A. Yakiyayeva✉, B.A. Iztayev, Sh.A. Tursunbayeva, R.B. Mukhtarkhanova, M.N. Mamyrayev, M.N. Rakhymbayeva

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: yamadina88@mail.ru

The paper presents a study of the surface morphology of triticale grain of the Kozha Elita variety at different degrees of milling. The aim of the study was to identify the effect of grinding dispersion on the grain surface microstructure in order to improve the technological parameters of flour milling. A Quanta 3D 200i (FEI) scanning electron microscope, providing high visualization resolution, was used for the analysis. The study was carried out under high vacuum conditions at an accelerating voltage of 15 kV and a working distance of 13–16 mm. Eight samples with different degrees of grinding were studied: coarse (CD-1), fine, fine and medium grinding. For each sample, at least two micrographs were obtained using a secondary electron detector. The results showed that the degree of grinding significantly affects the morphology of the grain surface, reflecting differences in the structure of the endosperm and shell. The data obtained are important for optimizing technological processes for triticale processing, which helps to improve the quality of flour and expand the use of the crop in the food industry. The work contributes to the understanding of the relationship between grain microstructure and its technological properties, providing a basis for further research and practical implementation.

Key words: triticale variety ”Kozha Elita”, scanning electron microscopy, surface morphology, degree of grinding, dispersion, microstructure.

Кіріспе. Тритикале (× triticosecale) - бидайды (Triticum aestivum) және қара бидайды (Secale Cereale) айқастыру арқылы алынған будандық дәнді дақыл. Ол екі аналық дақылдың да ең жақсы қасиеттерін біріктіреді: жоғары өнімділік, құрғақшылық пен аурулар сияқты қолайсыз жағдайларға төзімділік және құнды астық құрамы [1, 2]. Осы артықшылықтардың арқасында тритикале өзгермелі климатта азық-түлік өнімдері мен жем үшін маңызды дақыл болып саналады.

Соңғы кездері тритикалеге қызығушылық, әсіресе, тұрақты дақылдар үшін өсімдіктердің бейімделуі шешуші маңызы бар Қазақстан сияқты континенттік климаты бар елдерде айтарлықтай өсті [3, 4]. Қазақстанда тритикале сорттарын селекциялау және жетілдіру бірнеше ондаған жылдар бойы жүргізіліп келеді [5, 6]. Тритикаленің «Қожа Элита» сорты әртүрлі өсіру жағдайларына жоғары бейімделуімен, құрғақшылыққа төзімділігімен және дәннің жақсы технологиялық қасиеттерімен сипатталады. Бұл сортты тамақ өнеркәсібінде оңтайлы пайдалану үшін оның физика-химиялық және морфологиялық сипаттамаларын егжей-тегжейлі зерттеу қажет [7, 8].

Астықтың өңдеуге жарамдылығын анықтайтын маңызды фактор оның фракциялық және дисперсті құрамы болып табылады. Астық түйіршіктерінің мөлшері ылғалды сіңіру, реактивтілік, макияж және өнім шығару сияқты параметрлерге әсер етеді. Ұнтақталған дәннің беткі микроқұрылымы жасуша қабырғаларының құрылымын, эндосперм, крахмал және белоктардың таралуын көрсетеді, бұл өз кезегінде соңғы өнімнің сапасына әсер етеді [9, 10].

Сканерлеуші электронды микроскопия (SEM) жоғары ажыратымдылықтағы беттік микроқұрылымды зерттеудің тиімді әдісі болып табылады. Ол астық, ұн, крахмал және басқа да биологиялық материалдардың құрылымын талдау үшін тағамдық зерттеулерде кеңінен қолданылады [11, 12].

Жұмыста тритикаленің «Қожа Элита» сортының дәнінің әртүрлі ұнтақталу дәрежесінде беткі морфологиясын зерттеу берілген.

Зерттеудің мақсаты – ұнтақтау дисперсиясының астық бетінің микроқұрылымына әсерін анықтау және ұн тартудың технологиялық параметрлерін жақсартуға болатын заңдылықтарды

анықтау.

Зерттеу мақсаттары:

- тритикаленің «Қожа Элита» сортының дәнін әртүрлі дисперсиялық дәрежеде (ірі,

орташа, ұсақ және ұсақ ұнтақтау) ұнтақтау;

- Quanta 3D 200i (FEI) сканерлеуші электронды микроскоп арқылы дән бетінің

микроқұрылымын зерттеу;

- ұнтақтаудың әртүрлі дәрежесінде эндосперм мен қабықтың морфологиялық ерекшеліктерін салыстыру;

- өңдеу кезінде астықтың потенциалды технологиялық қасиеттеріне морфологияның әсерін бағалау.

Зерттеудің ғылыми гипотезасы: дисперсия дәрежесінің жоғарылауы ұнның шығымы мен сапасына, оның суды сіңіру қабілетіне және пісіру қасиеттеріне тікелей әсер ететін эндосперм мен қабықтың микроқұрылымында елеулі өзгерістерге әкеледі деп болжанады.

Күтілетін нәтижелер:

- фрезерлеудің әртүрлі дәрежелеріндегі микроқұрылым өзгерістерінің сандық және сапалық сипаттамалары;

-дәннің дисперстік дәрежесі мен құрылымдық ерекшеліктері арасындағы байланысты анықтау;

- ұнға тритикале өңдеу тиімділігін арттыру үшін ұн тартудың оңтайлы параметрлерінің ғылыми негіздерін қалыптастыру;

- ұн тарту және тамақ өнеркәсібінде тритикале пайдалануды кеңейту бойынша практикалық ұсыныстар.

Материалдар мен әдістер. Зерттеуге материал ретінде Қазақстан Республикасы Алматы облысы Алмалыбақ ауылында орналасқан Қазақ ауыл шаруашылығы және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институтының тәжірибелік жерлерінде өсірілген тритикаленің «Қожа Элита» сортының дәні алынды. Тәжірибелер алдында дәнді қоспалардан тазартып, көлемі бойынша сұрыпталды. Бақылау үлгісі ретінде СД-1 диірменінде ұсақталған жұмсақ бидай дәні (Triticum aestivum) алынды.

«Қожа Элита» сортының дәні ұн тарту алдында стандартты алдын ала дайындықтан өтті:

1. Тазалау: дәнді зертханалық астық тазалау жабдықтары арқылы қоспалардан (шаң, қабық, тастар, арамшөп тұқымдары) мұқият тазартты. Сонымен қатар, зақымдалған және піспеген дәндер қолмен таңдалды.

2. Өлшемі бойынша сұрыптау және нивелирлеу: бөлшек бойынша біркелкі партияларды алу үшін астық елеуіш анализаторлары арқылы еледі.

3. Кондиционерлеу (ылғалдандыру): тұрақты ұнтақтауды қамтамасыз ету үшін дәнді 14-15% оңтайлы ылғалдылыққа дейін ылғалдандырды. Ылғалдылық эндосперм мен қабықшаға біркелкі таралуы үшін процесс бөлме температурасында 12-24 сағат бойы жүргізілді.

4. Температураны тұрақтандыру: тәжірибе нәтижелеріне сыртқы факторлардың әсерін жою үшін ұн тарту алдында дәнді 20–22 °C температурада және 60–65% салыстырмалы ауа ылғалдылығында ұстады.

5. Параметрді басқару: дәннің ылғалдылығы ылғал өлшегіш көмегімен тексерілді. Әрбір үлгі үшін ұнтақтау алдында бастапқы ылғалдылық, салмақ және сақтау шарттары жазылды.

Әртүрлі дисперсті үлгілерді алу үшін зертханалық диірмендер мен дезинтегратор пайдаланылды:

- ұсақ ұнтақтау (СД-1) - СД-1 зертханалық диірменде орындалады;

- орташа ұнтақтау - МД-1 дезинтеграторында орындалады;

- майда ұнтақтау - ротордың жоғары жылдамдығын пайдаланып МД-1 дезинтеграторында алынады;

- ұсақ дисперсті ұнтақтау - ұнтақтау ұзақтығы ұлғайған MD-1 дезинтеграторында орындалады.

Зерттеудің сенімділігін арттыру үшін әрбір үлгі екі реттен талданды, бұл параметрлердің ықтимал ауытқуларын есепке алуға мүмкіндік берді. Нәтижелердің салыстырмалылығын қам-

тамасыз ету үшін алынған ұнтақтар талдауға дейін жабық контейнерлерде бөлме температурасында сақталды.

Сканерлеуші электронды микроскопия (SEM)

Дән бөлшектерінің беткі морфологиясы Quanta 3D 200i микроскопының (FEI, Нидерланды) көмегімен SEM арқылы зерттелді. Үлгіні дайындау бөлшектерді алюминий ұстағыштарға бекітілген көміртекті таспаға бекітуді қамтиды. Талдау параметрлері:

~ 6×10 ³ Па қысымдағы жоғары вакуум режимі;

үдеткіш кернеу - 15 кВ;

жұмыс қашықтығы - 13-16 мм;

үлкейту диапазоны - ×500 - ×2000;

анықтау - екінші реттік электрондарды қолдану.

Әрбір үлгі үшін кемінде үш микросурет алынды, бұл морфология бойынша репрезентативті деректерді алуға мүмкіндік берді.

Бөлшектердің өлшемі кірістірілген калибрленген кескінді талдау жүйесі арқылы анықталды. Әрбір үлгі үшін кемінде 50 бөлшек өлшенді, содан кейін орташа арифметикалық және стандартты ауытқу есептелді.

Бақылау материалы: микроқұрылымдық ерекшеліктерін салыстыру үшін ұқсас әдіспен ұсақталған жұмсақ бидай дәнінің (Triticum aestivum) бақылау үлгілері қосымша зерттелді.

Статистикалық өңдеу

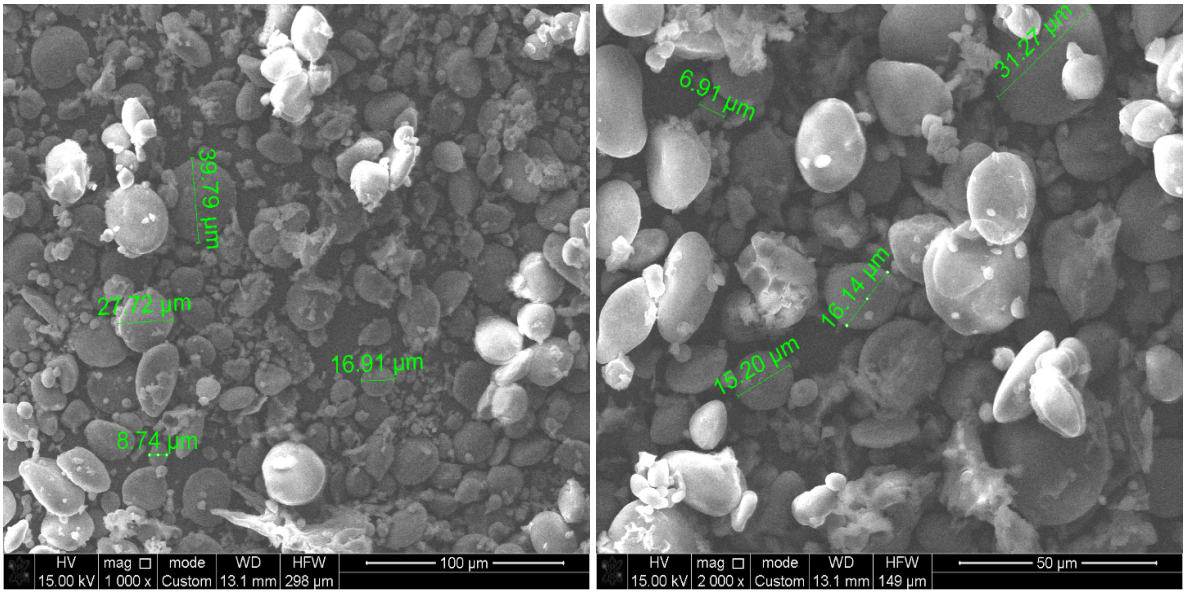
Барлық эксперименттік деректер Statistica 10.0 бағдарламасының (StatSoft, АҚШ) көмегімен статистикалық өңдеуге ұшырады. Таралудың қалыптылығы Шапиро-Вилк критерийі арқылы тексерілді. Үлгілер арасындағы айырмашылықтардың сенімділігі дисперсияның бір жақты талдауы (ANOVA), содан кейін бірнеше салыстыру үшін Tukey сынағы арқылы бағаланды. Маңыздылық деңгейі p <0,05 болды.

Нәтижелер мен талқылау. Quanta 3D 200i сканерлеуші электрондық микроскопта электрондық сәуле бетінің морфологиясын зерттеу үшін үлгіні бомбалайды. Бұл арнайы детектор арқылы жазылатын екінші реттік электрондардың сөндірілуіне әкеледі. Детектор сигналының қарқындылығы, демек, кескіннің жарықтығы материалдың қасиеттеріне және, атап айтқанда, үлгінің беткі рельефіне байланысты. Нәтижесінде зерттелетін аймақтың морфологиясын көрсететін кескін қалыптасады. Үлгілердің беткі морфологиясы сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) көмегімен зерттелді. Түсіру жоғары вакуум режимінде ($6x10^{-3}$ Па) 15 кВ үдеткіш кернеуде және 13-16 мм жұмыс қашықтығында жүргізілді. Екі жақты көміртекті таспаға бекітілген барлығы 4 үлгі зерттелді. Әрбір үлгі үшін x500-ден x2000-ге дейін үлкейтумен кемінде екі микросурет алынды. Суреттер 100 және 50 мкм ұлғайту мөлшерімен зерттелді және алынған нәтижелердің орташа саны алынды. Зерттеуде HV (High Voltage - Жоғары кернеу), Mag (Magnification - Үлкейту), WD(Working Distance - жұмыс қашықтығы), HFW (Horizontal Field Width - Көлденең өріс ені) әртүрлі болды. Құрылымдардың типтік өлшемдері 1-5 суретте көрсетілген.

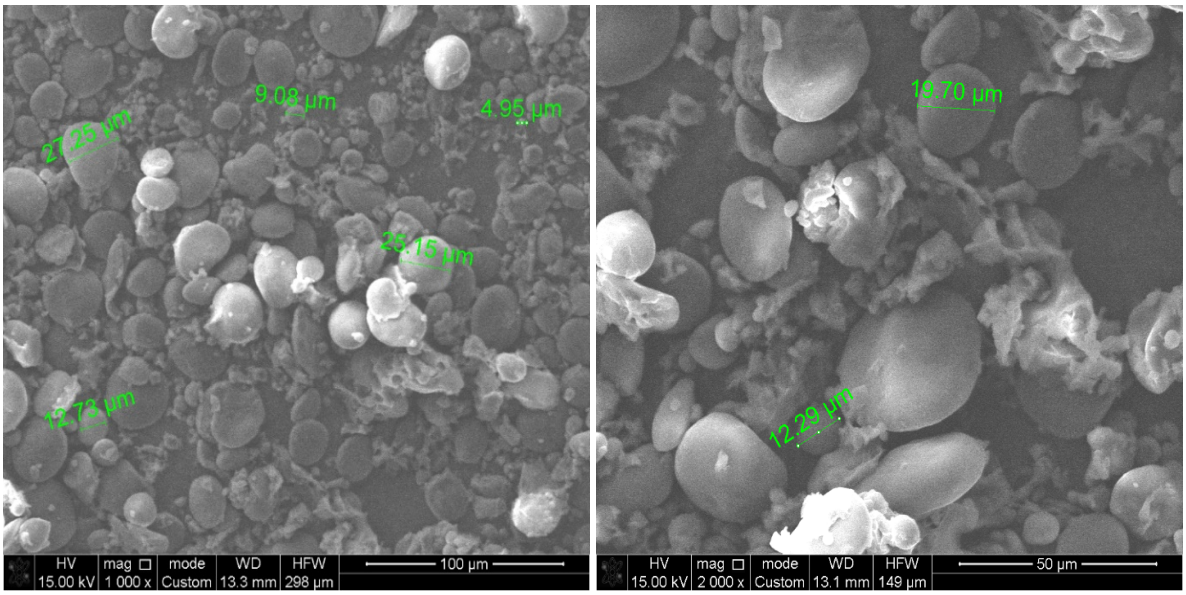
1-суретті талдау CD-1 диірменінде ұсақталған жұмсақ бидай дәнінің (Triticum aestivum) бақылау үлгісі микрожарықтары бар орташа кедір-бұдыр беті және орташа мөлшері 20,34 мкм көрсетті.100 мкм өлшеммен зерттегенде HV (High Voltage - Жоғары кернеу) - 15,00 квт, Mag (Magnification - Үлкейту) - 1000x, WD(Working Distance - жұмыс қашықтығы) - 13,1 мм, HFW (Horizontal Field Width - Көлденең өріс ені) - 298 µm құрады.50 мкм өлшеммен зерттегенде HV (High Voltage - Жоғары кернеу) - 15,00 квт, Mag (Magnification - Үлкейту) - 2000x, WD(Working Distance - жұмыс қашықтығы) - 13,1 мм, HFW (Horizontal Field Width - Көлденең өріс ені) - 149 µm құрады. Мұнда крахмал түйіршіктері көрінетін аймақтар және құрылымның деформация аймақтары байқалады. Микрожарықтар санының артуы бөлшектердің белсенді бетінің өсуіне ықпал етеді.

2-суретті талдау CD-1 диірменінде ұнтақтау эндосперм құрылымының ішінара бұзылуына әкелетінін көрсетеді, бұл ретте қабықшалардың фрагменттері мен крахмал түйіршіктері сақта-

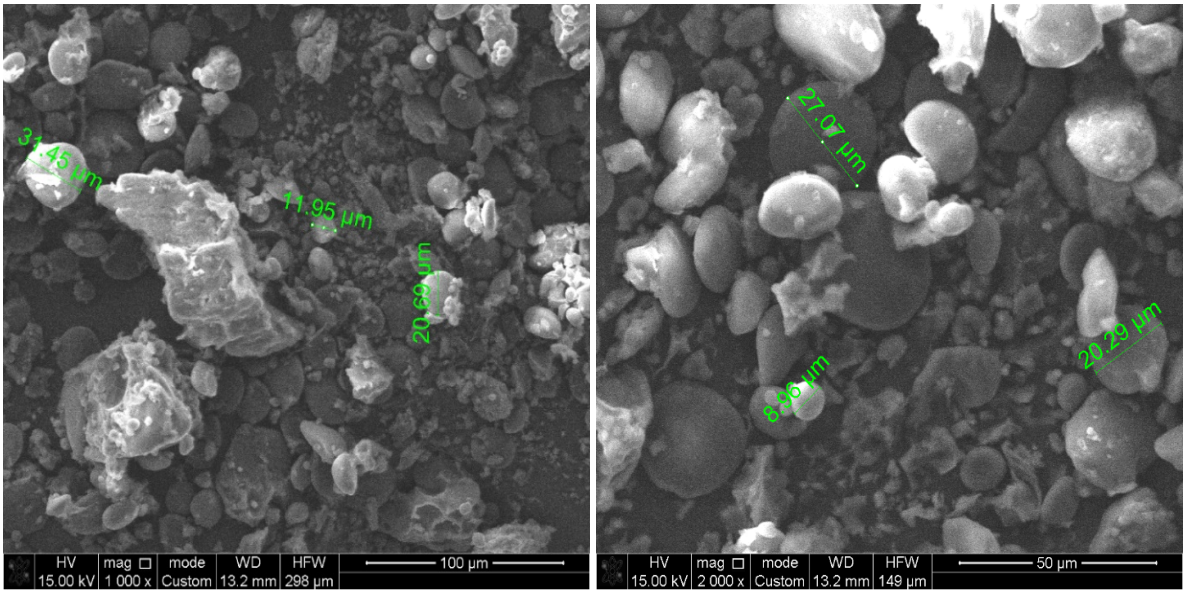
лады.100 мкм өлшеммен зерттегенде HV (High Voltage - Жоғары кернеу) - 15,00 квт, Mag (Magnification - Үлкейту) -1000х, WD(Working Distance - жұмыс қашықтығы) - 13,3 мм, HFW (Horizontal Field Width - Көлденең өріс ені) - 298 μm құрады.50 мкм өлшеммен зерттегенде HV (High Voltage - Жоғары кернеу) - 15,00 квт, Mag (Magnification - Үлкейту) - 2000х, WD(Working Distance - жұмыс қашықтығы) - 13,1 мм, HFW (Horizontal Field Width - Көлденең өріс ені) - 149 μm құрады. Бөлшектердің микрожарықтары бар орташа кедір-бұдыр беті және орташа мөлшері 17,2 мкм, бұл ұсақ ұнтақтауға сәйкес келеді. Бұл дәннің бағалы компоненттерін сақтауға мүмкіндік беретін жұмсақ ұнтақтау режимін көрсетеді.



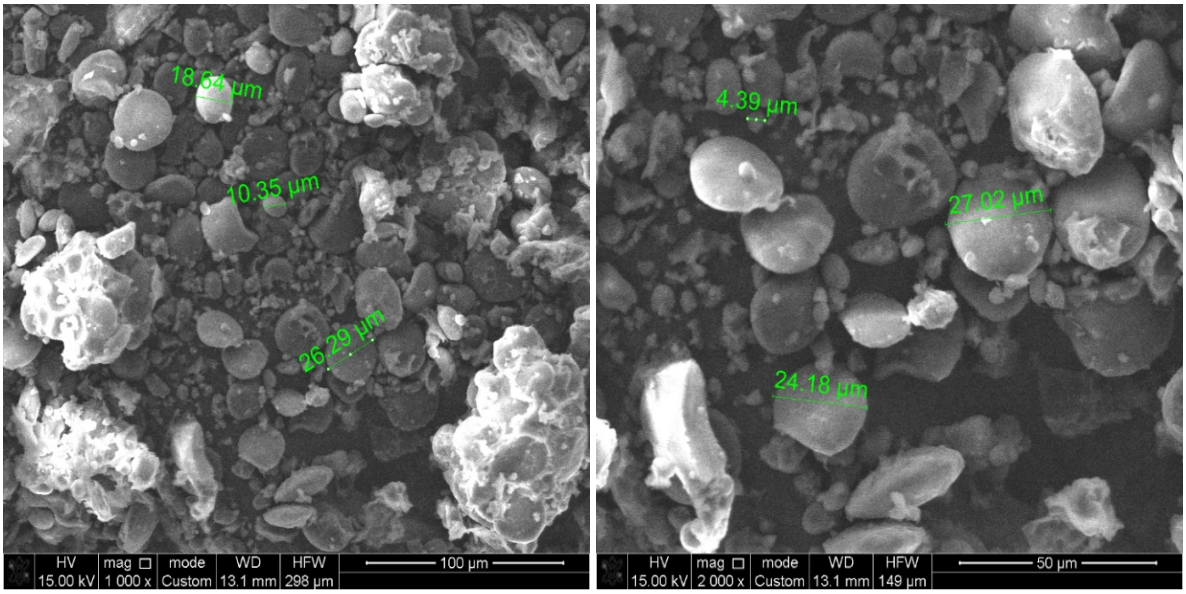
1 - сурет. СД-1 диірменінде ұсақталған жұмсақ бидай дәнінің (Triticum aestivum) бақылау үлгісі



2 - сурет. СД-1 диірменінде ұсақталған «Қожа Элита» тритикале дәнінің үлгісі



3 - сурет. «Қожа Элита» тритикале дәнінің үлгісі – МД-1 дезинтеграторы арқылы алынған орташа ұнтақтау

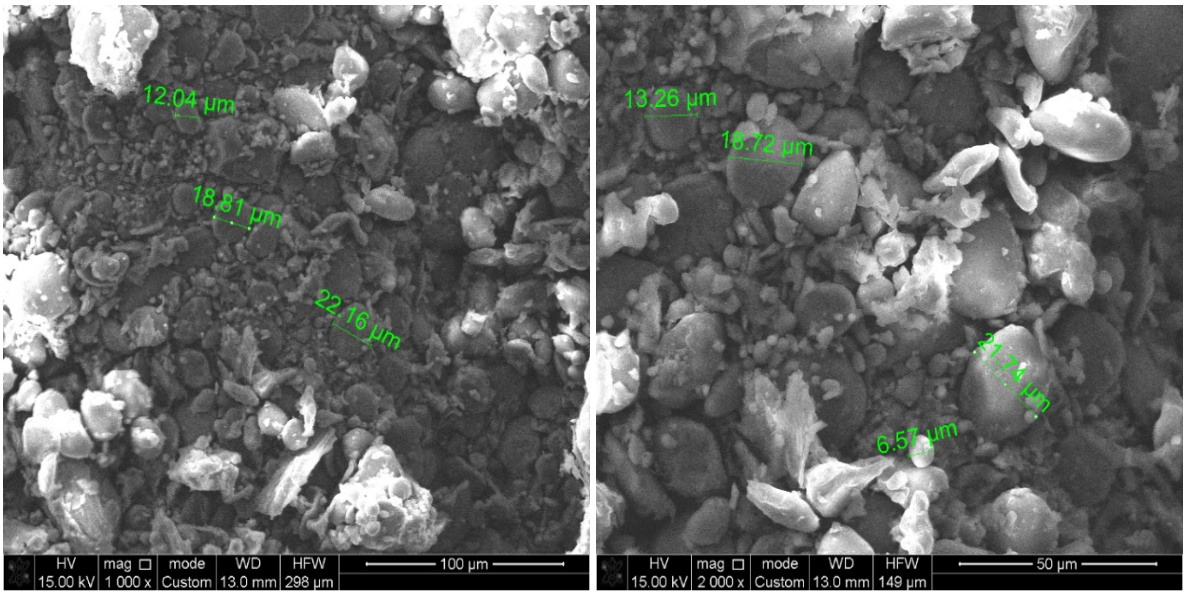


4 - сурет. «Қожа Элита» тритикале дәнінің үлгісі - МД-1 дезинтеграторының көмегімен алынған майда ұнтақтау

3-суретті талдау орташа ұнтақтау ұнның жасушалық құрылымына ішінара зақым келтіретінін көрсетеді.100 мкм өлшеммен зерттегенде HV (High Voltage - Жоғары кернеу) - 15,00 квт, Mag (Magnification - Үлкейту) - 1000х, WD(Working Distance - жұмыс қашықтығы) - 13,2 мм, HFW (Horizontal Field Width - Көлденең өріс ені) - 298 µm құрады.50 мкм өлшеммен зерттегенде HV (High Voltage - Жоғары кернеу) - 15,00 квт, Mag (Magnification -Үлкейту) - 2000х, WD(Working Distance - жұмыс қашықтығы) - 13,2 мм, HFW (Horizontal Field Width - Көлденең өріс ені) -

149 μm құрады. Бөлшектердің орташа мөлшері 20,06 мкм. Бетінде крахмал дәндері көрініп, құрылымы деформацияланған жерлер де байқалады. Микрожарықтар санының артуы бөлшектердің белсенді бетінің ұлғаюына әкеледі. Мұндай өзгеріс ұнның ылғалдану қабілетін жақсартуы мүмкін, бірақ шамадан тыс жойылу оның функционалдық қасиеттеріне теріс әсер етуі мүмкін.

Кескінді талдау (4-сурет) майда ұнтақтау нәтижесінде үлгілердің бетінде айқын микрорельефі бар кеуекті құрылымның пайда болғанын көрсетеді.100 мкм өлшеммен зерттегенде HV (High Voltage - Жоғары кернеу) - 15,00 квт, Mag (Magnification-Үлкейту) - 1000x, WD(Working Distance - жұмыс қашықтығы) - 13,1 мм, HFW (Horizontal Field Width - Көлденең өріс ені) – 298 μm құрады.50 мкм өлшеммен зерттегенде HV (High Voltage - Жоғары кернеу) - 15,00 квт, Mag (Magnification - Үлкейту) - 2000x, WD(Working Distance - жұмыс қашықтығы) - 13,1 мм, HFW (Horizontal Field Width - Көлденең өріс ені) - 149 μm құрады. Бөлшектердің орташа мөлшері 18,48 мкм. Жасуша құрылымы айтарлықтай бұзылады: жасуша қабырғалары бұзылады, крахмал дәндері деформацияланып, бөлшектенеді. Қарқынды механикалық әрекетті көрсететін материалдың кең аморфизациясы байқалады. Мұндай ұнтақтау реактивтілікті арттырса да, одан әрі өңдеу кезінде материалдың жоғары температураға және ферментативті деградацияға төзімділігін төмендетуі мүмкін.



5 - сурет. «Қожа Элита» тритикале дәнінің үлгісі - MD-1 дезинтеграторының көмегімен алынған ұсақ дисперсті ұнтақтау

Ұсақ дисперсті үлгілердің микросуреттері (5-сурет) құрылымдық өзгерістерді көрсетеді: тритикале дәні толығымен дерлік бұзылған, беті тегіс емес, көптеген жарықтар мен ұсақ фрагменттері бар.100 мкм өлшеммен зерттегенде HV (High Voltage - Жоғары кернеу) - 15,00 квт, Mag (Magnification - Үлкейту) - 1000x, WD(Working Distance- жұмыс қашықтығы) - 13,0 мм, HFW (Horizontal Field Width - Көлденең өріс ені) - 298 μm құрады.50 мкм өлшеммен зерттегенде HV (High Voltage - Жоғары кернеу) - 15,00 квт, Mag (Magnification - Үлкейту) - 2000x, WD (Working Distance - жұмыс қашықтығы) - 13,0 мм, HFW (Horizontal Field Width -Көлденең өріс ені) – 149 μm құрады. Бөлшектердің орташа мөлшері 16,19 мкм болды. Крахмал мен белоктар бөлініп, ұсақ бөлшектердің агломераттары түзіледі. Мұндай сипаттамалар мамандандыры-

лған өнімдерді өндіруде қолданылатын ультра майда ұнға тән, бірақ олар агрегация мен функционалдық қасиеттерінің нашарлауын болдырмау үшін ылғалдылықты, кептіруді және сақтау шарттарын қатаң бақылауды талап етеді.

Тритикаленің «Қожа Элита» сортының дәнінің морфологиясын СД-1 диірменінде ұнтақталған жұмсақ бидайдың (Triticum aestivum) бақылау үлгісімен салыстыру беткі қабаттың құрылымында айтарлықтай айырмашылықтарды көрсетті. Бұл айырмашылықтар ұнтақтау режимдеріне тікелей байланысты, бұл дән морфологиясының ұнтақтау дәрежесіне тәуелділігін растайды.

Фрезерлеудің төрт түрін талдау дисперсия дәрежесі мен құрылымның өзгеруі арасындағы дәйекті қатынасты анықтады: ұсақ ұнтақтау жасуша қабырғалары мен эндоспермді бұзады, бұл суды сіңіру, тұтқырлық, гельдік қасиеттер және ферментативті белсенділік сияқты негізгі технологиялық көрсеткіштерге әсер етеді. Мұндай бақылаулар шетелдік зерттеулердің нәтижелерімен сәйкес келеді: мысалы, Ermolaev және т.б. [13] және Jemal және Awulachew [14] бидай ұнының бөлшек мөлшерінің төмендеуі крахмал мен белоктардың бөлінуін күшейтетінін, ферментативті реакциялардың жылдамдығын арттыратынын, бірақ сонымен бірге қамыр құрылымының тұрақтылығын төмендететінін көрсетті. Сонымен қатар, Li және т.б. [15] және Davletshina және т.б. [16]тритикале үшін ұсақ ұнтақтау ақуыздың функционалдық қасиеттерін жақсартатынын, бірақ сақтау шарттары бұзылған жағдайда жасушалық құрылымдардың шамадан тыс фрагментациясына және пісіру сапасының нашарлауына әкелетінін көрсетті.

Осылайша, біздің деректеріміз ұнтақтаудың ұсақтығы мен дәннің құрылымдық тұтастығын сақтау арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті табу қажеттілігі туралы халықаралық зерттеушілердің тұжырымдарын растайды. Сканерлеуші электронды микроскопия (SEM) микроқұрылымды талдау және тритикале үшін оңтайлы өңдеу параметрлерін орнату үшін тиімді құрал болып шықты, бұл нәтижелерді астық дақылдарын зерттеудің кең контекстіне бірікті ріруге мүмкіндік береді.

Қорытынды. Тритикаленің «Қожа Элита» сортының дәнінің сканерленген электронды микроскопиясы ұнтақтаудың әртүрлі дәрежесінде оның микроқұрылымындағы өзгерістерді егжей-тегжейлі талдауға мүмкіндік берді. Ұсақ ұнтақтау кезінде эндоспермнің жасушалық құрылымдарының 65-70% дейін жойылатыны, крахмал дәндерінің бөлінуімен және ақуыз матрицаларының ішінара жойылуымен бірге жүретіні анықталды. Орташа ұнтақтау үлгілерінде эндоспермнің зақымдану дәрежесі шамамен 35–40% құрады, бұл ұсақ ұнтақтаумен салыстырғанда құрылымның неғұрлым сақталғанын растайды. Алынған нәтижелер бидай дәнінің морфологиясы бойынша әдебиет деректерімен сәйкес келеді [16,17], бұл сонымен қатар дисперсия дәрежесінің жоғарылауымен жасуша зақымдануының жоғарылауын атап өтеді. Жұмсақ бидайдың бақылау үлгілерімен салыстырған кезде тритикаленің үстіңгі қабатының гетерогенділігі жоғары екені анықталды (ұсақ ұнтақтау кезінде 12–15% жоғары), оны қабықтың құрылымдық ерекшеліктерімен түсіндіруге болады.

Осылайша, тритикале микроқұрылымындағы ең маңызды өзгерістер ұсақ ұнтақтау кезінде болады, бұл өңдеудің технологиялық параметрлеріне және дайын өнімнің сапасына айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Ұсынылған сандық сипаттамалар дәннің құрылымдық тұтастығын сақтау және ұн сапасын жақсарту үшін ұнтақтаудың оңтайлы параметрлерін негіздеуге мүмкіндік береді.

Болашақта тритикаленің технологиялық қасиеттеріне микроқұрылымның әсер ету механизмдерін нақтылау үшін фракциялардың физика-химиялық және функционалдық талдауларын қолдану арқылы кеңейтілген зерттеулер жүргізу, сонымен қатар алынған нәтижелерді әдеби деректердің кең ауқымымен салыстыру ұсынылады.

Қаржыландыру. *Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің №AP23488390 «Отандық тритикале сорттарынан алынған ұн негізінде*

ашытқысыз нан өнімдерін дайындаудың же- қаржыландыру шеңберінде жүргізілді. делдетілген технологиясын әзірлеу» гранттық

Литература

1. Mirosavljević M., Momčilović V., Aćin V., Jocković B., Timić J., Jaćimović G. Wheat Barley, and Triticale Response to Nitrogen Fertilization in Pannonian Environment // Agriculture. - 2025. - Vol. 15(7): 683. DOI 10.3390/agriculture15070683.

2. Jańczak-Pieniążek M., Kaszuba J. The Influence of Agrotechnical Factors on the Yield and Quality Parameters of Winter TriticaleGrain//Agriculture.-2024.-Vol.14(12):2219. DOI 10.3390/agriculture14122219.

3. Бадамшина Е.В., et al. Влияние тритикалевой муки и отрубей на показатели качества хлебных палочек// Вестник КрасГАУ. - 2023. - №11. -С.298- 304. DOI 10.36718/1819-4036-2023-11-298-304.

4. Suhovici D., Paiu S., Rumeus I., Boeştean O., Codină G. G., Ghendov-Mosanu A. Current and prospective directions in the use of the grain crops triticale // Journal of engineering science. -2025. -Vol. 32(1). - P.136-150. DOI 10.52326/jes.utm.2025.32(1).11.

5. Zhanabayeva K.K., Zhamalova D., Ruchkina G., Chernyavskaya O., Ongarbayeva N. Biochemical characteristics of triticale flour formed from separate fractions on grinding grain of Kazakhstan selection// Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems.- 2020. -Vol.12(6). - P.709 - 711. DOI 10.5373/JARDCS/V12I6/S20201084.

6. Байкалова Л.П., Попов В.Ю.Питательная ценность и продуктивность зеленой массы яровых пшеницы и тритикале//Вестник КрасГАУ.-2025.-№ (3).-С.62-71. DOI 10.36718/1819-4036-2025-3-62-71.

7. Жанабаева К.К., Онгарбаева Н., Рукшан Л.В. Исследование гранулометрического состава и качества муки из тритикале казахстанской селекции//Вестник МГУП. -2018.-№2(25)- С.65-70.

8. Ponomareva M., Ponomarev S., Mannapova G., Gilmullina L., Garaeva N. Arabinoxylan content in grain of winter triticale varieties compared to other cereals // BIO Web of Conferences, 2025. - Vol.160: 01029. DOI 10.1051/bioconf/202516001029.

9. Zhanabayeva K.K., Ongarbayeva N.O., Ruchkina G.A., Yesseyeva G.K., Smolyakova V.L. Features of technological properties of triticale grain of Kazakhstan' s selection//Journal of Engineering and Applied Sciences. - 2018.- Vol.13(10).-P.8292-8829 DOI 10.3923/jeasci.2018.8292.8299.

10. Beskopylny A.N., Shcherban E.M., Stel'makh S.A., Shilov A.A., Razveeva I., Elshaeva D., Chernil'nik A., Onore, G. Developing Computer Vision Models for Classifying Grain Shapes of Crushed Stone // Sensors. - 2025. -Vol.25(6):1914. DOI 10.3390/s25061914.

11. van Helden K.M., Schmith J., Downs D.T. The influence of vesicularity on grain morphology in basaltic pyroclasts from Mauna Loa and Kīlauea volcanoes // Journal of Applied Volcanology. -2024. -Vol. 13(6). DOI 10.1186/s13617-024-00145-w.

12. Oliveira M. Q., Garcia J. M., Paolinelli S. da C., Santana S. I. V. de, Brandao L. P. Effect of stretching during annealing and decarbonizing treatment on the magnetic properties of grain-oriented electrical steels // Matéria (Rio de Janeiro). - 2025.-Vol.30. DOI 10.1590/1517-7076-rmat-2024-0744.

13. Ermolaev A., Mardini M., Buravkov S., Kudryavtseva N., Khrustaleva L. A Simple and User-Friendly Method for High-Quality Preparation of Pollen Grains for Scanning Electron Microscopy (SEM)// Plants. - 2024. —Vol.13(15):2140. DOI 10.3390/plants13152140.

14. Jemal N. D., Awulachew M. T. Impact of Wheat Tempering Conditions on Flour Particle Size and Thermo-Mechanical Properties // Asian Journal of Biological Sciences. - 2025.-Vol.18(3).-P.669-678. DOI 10.3923/ajbs.2025.669.678.

15. Li X., Ma B., Liu B., Li L., Cao J., Xu C. Study on the mechanism of grain size and residual stress coupling distribution on the intergranular corrosion susceptibility of AZ31B magnesium alloy // RSC Advances. - 2024.-Vol.14(52). -P.38832-38854. DOI 10.1039/d4ra07164f.

16. Давлетшина А.А., Чебыкин Н.С., Замятин Д.А. Дифракция отраженных электронов в исследовании микродеформаций в зернах циркона из метеоритных кратеров: методические аспекты // Литосфера.-2025.-Vol.25(2).-С. 309-319. DOI 10.24930/1681-9004-2025-25-2-309-319.

17. Liu B., Li L., Fu C., Zhang Y., Bai B., Du J., Zeng J., Bian Y., Liu S., Song J., Luo X., Xie L., Sun M., Xu X., Xia X., Cao S. Genetic dissection of grain morphology and yield components in a wheat line with defective grain filling// Theoretical and Applied Genetics. - 2023. -Vol.136(7):165. DOI 10.1007/s00122-023-04410-1.

18. Huang S., Han Y., Song R., Wang X., Zhou Y., Luo H., Ren X., Yu K. Effects of bio-nano-selenium on wheat grain morphology, selenium transport enrichment and antioxidant enzyme activities// Frontiers in Plant Science. - 2025. -Vol.16. -P.1-13. DOI 10.3389/fpls.2025.1516005.

References

1. Mirosavljević M., Momčilović V., Aćin V., Jocković B., Timić J., Jaćimović G. Wheat Barley, and Triticale Response to Nitrogen Fertilization in Pannonian Environment // Agriculture. - 2025. –Vol. 15(7): 683. DOI 10.3390/agriculture15070683.

2. Jańczak-Pieniążek M., Kaszuba J. The Influence of Agrotechnical Factors on the Yield and Quality Parameters of Winter Triticale Grain//Agriculture.-2024. -Vol.14(12):2219. DOI 10.3390/agriculture14122219.

3. Badamshina E.V., et al. Vlijanie tritikalevoj muki i otrubej na pokazateli kachestva hlebnyh palochek// Vestnik KrasGAU. - 2023.- №11.-S.298-304. DOI 10.36718/1819-4036-2023-11-298-304. [In Russian]

4. Suhovici D., Paiu S., Rumeus I., Boeştean O., Codină G. G., Ghendov-Mosanu A. Current and prospective directions in the use of the grain crops triticale // Journal of engineering science, 2025. –Vol. 32(1). - P.136-150. DOI 10.52326/jes.utm.2025.32(1).11.

5. Zhanabayeva K.K., Zhamalova D., Ruchkina G., Chernyavskaya O., Ongarbayeva N. Biochemical characteristics of triticale flour formed from separate fractions on grinding grain of Kazakhstan selection// Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. - 2020. - Vol.12 (6). - P.709711. DOI 10.5373/JARDCS/V12I6/S20201084.

6. Bajkalova L.P., Popov V.Ju.Pitatel’ naja cennost’ i produktivnost’ zelenoj massy jarovyh pshenicy i tritikale // Vestnik KrasGAU. - 2025.- № (3). -C.62-71. DOI 10.36718/1819-4036-2025-3-62-71. [In Russian]

7. Zhanabaeva K.K., Ongarbaeva N., Rukshan L.V. Issledovanie granulometricheskogo sostava i kachestva muki iz tritikale kazahstanskoj selekcii // Vestnik MGUP. -2018. -№ 2(25) -S.65-70. [In Russian]

8. Ponomareva M., Ponomarev S., Mannapova G., Gilmullina L., Garaeva N. Arabinoxylan content in grain of winter triticale varieties compared to other cereals // BIO Web of Conferences, 2025. - Vol.160: 01029. DOI 10.1051/bioconf/202516001029

9. Zhanabayeva K.K., Ongarbayeva N.O., Ruchkina G.A., Yesseyeva G.K., Smolyakova V.L. Features of

technological properties of triticale grain of Kazakhstan' s selection//Journal of Engineering and Applied Sciences.-2018.-Vol.13(10). -P.8292-8829. DOI10.3923/jeasci.2018.8292.8299.

10. Beskopylny A.N., Shcherban E.M., Stel'makh S.A., Shilov A.A., Razveeva I., Elshaeva D., Chernil'nik A., Onore, G. Developing Computer Vision Models for Classifying Grain Shapes of Crushed Stone // Sensors. - 2025. - Vol.25(6):1914. DOI 10.3390/s25061914.

11. van Helden K.M., Schmith J., Downs D.T. The influence of vesicularity on grain morphology in basaltic pyroclasts from Mauna Loa and Kīlauea volcanoes // Journal of Applied Volcanology. -2024. - Vol. 13(6). DOI 10.1186/s13617-024-00145-w.

12. Oliveira M. Q., Garcia J. M., Paolinelli S. da C., Santana S. I. V. de, Brandao L. P. Effect of stretching during annealing and decarbonizing treatment on the magnetic properties of grain-oriented electrical steels // Matéria (Rio de Janeiro). - 2025.- Vol.30. DOI 10.1590/1517-7076-rmat-2024-0744.

13. Ermolaev A., Mardini M., Buravkov S., Kudryavtseva N., Khrustaleva L. A Simple and User-Friendly Method for High-Quality Preparation of Pollen Grains for Scanning Electron Microscopy (SEM)// Plants. - 2024. -Vol.13(15):2140. DOI 10.3390/plants13152140.

14. Jemal N. D., Awulachew M. T. Impact of Wheat Tempering Conditions on Flour Particle Size and Thermo-Mechanical Properties //Asian Journal of Biological Sciences. - 2025.-Vol.18(3).- P.669-678. DOI 10.3923/ajbs.2025.669.678.

15. Li X., Ma B., Liu B., Li L., Cao J., Xu C. Study on the mechanism of grain size and residual stress coupling distribution on the intergranular corrosion susceptibility of AZ31B magnesium alloy // RSC Advances. - 2024.- Vol.14(52). -P.38832-38854. DOI 10.1039/d4ra07164f.

16. Davletshina A.A., Chebykin N.S., Zamjatin D.A. Difrakcija otrazhennyh jelektronov v issledovanii mikrodeformacij v zernah cirkona iz meteoritnyh kraterov: metodicheskie aspekty// Litosfera.-2025.- Vol.25(2). - C.309-319. DOI 10.24930/1681-9004-2025-25-2-309-319. [In Russian]

17. Liu B., Li L., Fu C., Zhang Y., Bai B., Du J., Zeng J., Bian Y., Liu S., Song J., Luo X., Xie L., Sun M., Xu X., Xia X., Cao S. Genetic dissection of grain morphology and yield components in a wheat line with defective grain filling// Theoretical and Applied Genetics. - 2023. -Vol.136(7):165. DOI 10.1007/s00122-023-04410-1.

18. Huang S., Han Y., Song R., Wang X., Zhou Y., Luo H., Ren X., Yu K. (2025). Effects of bio-nano-selenium on wheat grain morphology, selenium transport enrichment and antioxidant enzyme activities// Frontiers in Plant Science. - 2025. -Vol.16. - P.1-13. DOI 10.3389/fpls.2025.1516005.

Авторлар туралы мәліметтер

Изтаев А. - техника ғылымдарының докторы, профессор, Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: auelbekking@mail.ru;

Якияева М.А. - философия ғылымдарының докторы (Ph.D), қауымдастырылған профессор, «Алматы технологиялық университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан, e-mail: yamadina88@mail.ru;

Изтаев Б.А.– техника ғылымдарының кандидаты, «Алматы технологиялық университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан, e-mail: baurgoldman@mail.ru;

Турсунбаева Ш.А. – философия докторы (Ph.D), «Алматы технологиялық университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан, e-mail: sh.tursunbaeva@bk.ru;

Мухтарханова Р.Б. - техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Алматы технологиялық университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан, e-mail: rauan_78@mail.ru;

Мамыраев М.Н. - магистр, докторант, «Алматы технологиялық университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан, e-mail: maks1690@mail.ru;

Рахымбаева М.Н. - магистр, докторант, «Алматы технологиялық университеті» АҚ, Алматы, Қазақстан, e-mail:

m.r.n_8704@mail.ru

Information about authors

Iztayev A. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: auelbekking@mail.ru;

Yakiyayeva M. - Doctor of Philosophy (Ph.D), associated professor, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail:
yamadina88@mail.ru;

Iztayev B. - Candidate of Technical Sciences, JSC Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: baurgoldman@mail.ru;

Tursunbaeva S. - Doctor of Philosophy (Ph.D), JSC ”Almaty Technological University”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: sh.tursunbaeva@bk.ru;

Mukhtarkhanova R. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, JSC Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: rauan_78@mail.ru;

Mamyraev M. - master, PhD student, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: maks1690@mail.ru;

Rakhymbayeva M.- master, PhD student, Almaty Technological University JSC, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.r.n_8704@mail.ru

МРНТИ 52.47.25 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-887**

ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ НЕФТЯНЫХ ТРУБ ОТ ПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

[1]Ж.Н Алишева, [2]М.А Сарсенбаев, [3]Ж.А.Сарсенбаев

[1]Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2]ТОО "Научно-технологический парк" КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[3]ТОО «Инновации Плюс», Алматы, Казахстан

Корреспондент-автор: zhannat_86.2007@mail.ru

Проблема парафиновых отложений в нефтяных трубах продолжает оставаться одной из главных для нефтедобывающей отрасли. При накоплении парафинов резко снижается пропускная способность трубопроводов, увеличивается гидравлическое сопротивление и, как следствие, падают объемы добычи нефти. В таких условиях поиск и внедрение эффективных технологий очистки труб приобретает особую актуальность.

В представленной работе описан новый механический метод очистки нефтяных труб с использованием усовершенствованного штангового скребка, разработанного авторами. Особое внимание уделено специфике нефтедобычи на казахстанских месторождениях - таких как Тенгиз, Каражанбас и Жетыбай — где из-за интенсивного парафинообразования проблема особенно остра. В этих регионах парафиновые отложения не только снижают дебит скважин, но и способствуют росту аварийности и увеличению эксплуатационных затрат.

Разработанный штанговый скребок устанавливается на насосно-компрессорные трубы и осуществляет очистку в процессе работы насосного оборудования. За счёт оптимизированной геометрии рабочих элементов устройство эффективно удаляет как плотные, так и мягкие отложения, предотвращая образование парафиновых пробок и обеспечивая стабильный транспорт нефти. Практические испытания, проведенные на ряде казахстанских месторождений, подтвердили: применение данной технологии способствует увеличению дебита скважин, снижению расходов на эксплуатацию и уменьшению коррозионного воздействия на оборудование.

Особо стоит отметить, что механический метод очистки, в отличие от химических способов, является экологически безопасным. Это обстоятельство приобретает особое значение в свете ужесточающихся требований к охране окружающей среды. Проведённый сравнительный анализ показал, что по таким критериям, как экономическая эффективность, долговечность и адаптивность к различным условиям эксплуатации, предложенная технология существенно превосходит традиционные методы очистки.

Авторы предлагают рекомендации по интеграции штангового скребка в комплексную систему обслуживания трубопроводов. Среди них - адаптация конструкции устройства под различные условия добычи, организация мониторинга состояния труб и сочетание механической очистки с другими способами повышения нефтеотдачи.

Таким образом, предлагаемый метод представляет собой перспективное направление повышения эффективности нефтедобычи и надежности эксплуатации скважин, особенно актуальное для условий казахстанских месторождений.

Ключевые слова: очистка нефтяных труб, парафиновые отложения, механический подход, штанговые скребки, повышение нефтеотдачи, эффективность очистки, депарафинизация, дебит.

МҰНАЙ ҚҰБЫРЛАРЫН ПАРАФИН ТҰНБАЛАРЫНАН ТАЗАРТУДЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ӘДІСІ - МҰНАЙ ӨНІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

[1]Ж.Н.Алишева, [2]М.А. Сарсенбаев, [3]Ж.А. Сарсенбаев

[1]әл-Фараби ат. Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан,
[2]әл-Фараби ат. Қазақ Ұлттық Университетінің "Ғылыми-технологиялық парк" ЖШС, Алматы, Қазақстан,

[3]*«Инновации Плюс» ЖШС Алматы, Қазақстан,*
e-mail: zhannat_86.2007@mail.ru

Мұнай құбырларындағы парафинді тұнбалар мәселесі бүгінгі күнге дейін мұнай өндіру саласындағы негізгі қиындықтардың бірі болып қала береді. Парафин шөгінділері жиналған сайын құбырлардың өткізу қабілеті төмендеп, гидравликалық кедергі артып, нәтижесінде мұнай өндіру көлемі азаяды. Осындай жағдайда құбырларды тиімді тазарту технологияларын іздеу және енгізу аса өзекті мәселеге айналады.

Осы зерттеуде авторлар әзірлеген жаңартылған штангалы қырғышты қолдану арқылы мұнай құбырларын механикалық тазартудың жаңа әдісі ұсынылады. Ерекше назар парафиннің қарқынды жиналуы байқалатын Қазақстандағы Теңіз, Қаражанбас және Жетібай сияқты мұнай кен орындарының жұмыс жағдайларына аударылды. Бұл аймақтарда парафин шөгінділері ұңғымалардың өнімділігін төмендетіп қана қоймай, авариялық жағдайлардың жиілеуіне және пайдалану шығындарының өсуіне алып келеді.

Жаңартылған штангалы қырғыш насос-компрессорлық құбырларға орнатылады және жабдық жұмыс істеп тұрған кезде үздіксіз тазартуды қамтамасыз етеді. Жұмыс элементтерінің оңтайландырылған геометриясы қатты және жұмсақ тұнбаларды тиімді жоюға мүмкіндік береді, парафин тығындарының пайда болуына жол бермейді және мұнайдың тұрақты тасымалдануын қамтамасыз етеді. Қазақстанның бірнеше кен орындарында жүргізілген өндірістік сынақтар ұсынылған технологияның ұңғыма өнімділігін арттыруға, пайдалану шығындарын азайтуға және жабдықтың коррозиялық тозуын төмендетуге ықпал ететінін көрсетті.

Әсіресе, бұл әдістің химиялық тәсілдерден айырмашылығы — экологиялық қауіпсіздігінде екенін атап өткен жөн. Қазіргі уақытта экологиялық талаптардың күшеюі жағдайында бұл артықшылық ерекше маңызды. Салыстырмалы талдау нәтижелері ұсынылған технологияның экономикалық тиімділігі, ұзақ мерзімділігі және әртүрлі пайдалану жағдайларына бейімделу қабілеті бойынша дәстүрлі тазарту әдістерінен айтарлықтай басым екенін көрсетті.

Авторлар штангалы қырғышты мұнай құбырларын кешенді техникалық қызмет көрсету жүйесіне интеграциялау бойынша ұсыныстар береді. Оларға әртүрлі пайдалану жағдайларына бейімделу үшін құрылымдық өзгерістер енгізу, құбырлардың жағдайын тұрақты бақылау және механикалық тазарту әдісін мұнай өндіруді арттырудың басқа технологияларымен біріктіру жатады.

Жалпы алғанда, ұсынылған әдіс Қазақстан мұнай кен орындарының күрделі жұмыс жағдайларында мұнай өндіру тиімділігін арттыру мен ұңғымаларды сенімді пайдалану бағытында перспективалық шешім болып табылады.

Түйін сөздер: мұнай құбырларын тазарту, парафинді тұнбалар, механикалық әдіс, штангалы қырғыштар, мұнай өндіру тиімділігі, тазарту өнімділігі, парафинсіздендіру, дебит.

INNOVATIVE METHOD FOR CLEANING OIL PIPELINES FROM PARAFFIN DEPOSITS TO ENHANCE OIL RECOVERY

[1]Zh.N. Alisheva✉, [2]M.A. Sarsenbayev, [3]Z.A. Sarsenbaev,

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Scientific and Technological Park of Al-Farabi Kazakh National University" LLP, Almaty, Kazakhstan,
[3]Innovation Plus LLP, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: zhannat_86.2007@mail.ru

The issue of paraffin deposits in oil pipelines remains one of the major challenges for the oil production industry. As paraffin accumulates, it significantly reduces the pipeline throughput, increases hydraulic resistance, and ultimately leads to a decline in oil production volumes. Under such conditions, the search for and implementation of effective pipeline cleaning technologies becomes increasingly important.

This study presents a novel mechanical method for cleaning oil pipelines, utilizing an improved rod scraper developed by the authors. Particular attention is given to the specific conditions of oil production at Kazakhstani fields, such as Tengiz, Karazhanbas, and Zhetybai, where intensive paraffin formation exacerbates operational difficulties. In these areas, paraffin buildup not only decreases well productivity but also leads to a higher frequency of failures and rising maintenance costs.

The developed rod scraper is installed on sucker-rod pump tubing and performs continuous cleaning during the equipment's operation. Thanks to the optimized geometry of the working elements, the device effectively removes both hard and soft deposits, preventing the formation of paraffin plugs and ensuring stable oil transportation. Field trials conducted at several oilfields in Kazakhstan confirmed that the use of this technology contributes to increased well productivity, reduced operational costs, and minimized corrosion of equipment.

It is particularly important to emphasize that the mechanical cleaning method, unlike chemical approaches, is environmentally safe. This advantage is especially critical given the tightening of environmental protection requirements. Comparative analysis has demonstrated that the proposed technology significantly outperforms traditional cleaning methods in terms of economic efficiency, durability, and adaptability to varying operating conditions.

The authors also outline recommendations for integrating the rod scraper into a comprehensive pipeline maintenance system, including adaptation of the scraper design to different production environments, regular pipeline monitoring, and the combination of mechanical cleaning with other enhanced oil recovery technologies.

Overall, the proposed method offers a promising direction for improving oil production efficiency and well operation reliability, particularly under the challenging conditions of Kazakhstani oilfields.

Keywords: oil pipeline cleaning, paraffin deposits, mechanical approach, rod scrapers, enhanced oil recovery, cleaning efficiency, deparaffinization, well productivity.

Введение. Парафиновые отложения в нефтяных трубах представляют собой одну из наиболее серьезных технических и экономических проблем в нефтедобывающей отрасли. Парафины, содержащиеся в нефти, имеют тенденцию выпадать в осадок при изменении условий температуры и давления. Эти отложения приводят к ряду негативных последствий, включая уменьшение пропускной способности трубопроводов, увеличение энергозатрат на перекачку нефти, снижение дебита скважин и сокращение общей эффективности эксплуатации нефтяных месторождений.

Мировая проблема парафиновых отложений обусловлена широким распространением месторождений с высоким содержанием парафинов в нефти. Например, такие страны, как Россия, Венесуэла и Бразилия, сталкиваются с этой проблемой в связи с геологическими особенностями и климатическими условиями. В холодных регионах, таких как Сибирь и Аляска, риск образования парафиновых пробок особенно велик из-за низких температур. На решение этой проблемы направлены различные технологии, включая химические, термические и механические методы очистки, однако они требуют значительных финансовых затрат и могут быть экологически небезопасными [1-3].

На рисунке 1 показано, как дебит скважины снижается в процессе эксплуатации из-за накопления парафиновых отложений. Это подтверждает необходимость внедрения инновационных методов очистки, таких как механический штанговый скребок.

В Казахстане проблема парафиновых отложений является особенно актуальной для таких месторождений, как Тенгиз, Каражанбас, Жетыбай и Узен. Нефть этих месторождений содержит высокий процент парафинов, что приводит к быстрому накоплению отложений в насосно-

компрессорных трубах, колоннах и трубопроводах. Условия эксплуатации, такие как значительная глубина скважин, сложная геология и перепады температур, дополнительно усугубляют ситуацию [4]. Например, на многих казахстанских месторождениях температура нефти может значительно снижаться в процессе эксплуатации и добычи, что способствует интенсивному выпадению парафинов. Это приводит к увеличению частоты аварийных ситуаций, простоям оборудования и снижению общей рентабельности добычи [5].



Рис.1 - Изменение дебита скважины в процессе эксплуатации при наличии парафиновых отложений

Экономические последствия парафиновых отложений в Казахстане оказываются весьма ощутимыми. Они проявляются в росте расходов на очистку трубопроводов, увеличении затрат на ремонт оборудования, а также в снижении объёмов добычи нефти. Дополнительную серьёзность проблеме придаёт экологический фактор: многие традиционные методы борьбы с парафином, особенно химические, сопряжены с риском негативного воздействия на окружающую среду. Это требует особой осторожности при выборе технологий и подчёркивает необходимость поиска более безопасных решений [6].

Материалы и методы. Исследование направлено на разработку и оценку эффективности механического способа очистки нефтяных труб от парафиновых отложений с использованием нового штангового скребка. В ходе выполнения работы были проведены лабораторные исследования, моделирование условий эксплуатации, а также опытно-промышленные испытания на месторождении Узень.

Объектом исследования стали насосно-компрессорные трубы (НКТ) диаметром 73–89 мм и насосные штанги диаметром 19 и 22 мм, подверженные образованию асфальто-смоло-парафиновых отложений (АСПО). Исследования проводились на образцах труб, извлеченных из скважин месторождений Тенгиз, Каражанбас, Жетыбай. Количественный и качественный анализ отложений показал, что их состав включает твердые углеводороды (парафины 40-60%), асфальтены (10-15%) и смолистые вещества (20-30%) [7-9].

Основной целью исследования является разработка и внедрение инновационного механического устройства - автоматического штангового скребка для очистки насосно-глубинных скважин от парафиновых и других отложений. Устройство предназначено для устранения эксплуатационных осложнений, вызванных образованием асфальто-смоло-парафиновых отложений (АСПО), которые существенно снижают производительность скважин, увеличивают износ оборудования и приводят к росту затрат на обслуживание и ремонт.

Обсуждение и результаты. В рамках исследования были решены следующие задачи:

- Усовершенствована конструкция штангового скребка для более эффективного удаления парафиновых отложений с внутренних стенок насосно-компрессорных труб и насосных штанг.

- Проведены опытно-промышленные испытания устройства на скважинах №118 ГУ-90, №2734 ГУ-34, № 6095 ГУ-15 АО “Озенмунайгаз” с различными геолого-техническими условиями.

- Выполнено сравнение предлагаемого метода с существующими технологиями очистки (тепловыми, химическими и другими механическими) с точки зрения эффективности, экологической безопасности и экономической целесообразности.

Значимость предлагаемой технологии:

1. Решение проблемы асфальто-смоло-парафиновых отложений (АСПО)

Парафиновые отложения продолжают оставаться одной из главных эксплуатационных проблем нефтедобывающей отрасли, особенно на месторождениях Казахстана, таких как Тенгиз и Жетыбай. Они приводят к снижению дебита скважин, увеличению энергозатрат и частым ремонтам оборудования. Предложенное устройство эффективно устраняет эту проблему за счёт механической очистки, которая интегрируется непосредственно в процесс работы скважины без остановки добычи.

2. Увеличение межочистного периода (МОП)

Применение саморегулирующегося штангового скребка позволяет значительно увеличить интервал между очистками скважин. По результатам опытно-промышленных испытаний на казахстанских месторождениях установлено, что межочистной период возрастает в 3–4 раза. Это, в свою очередь, существенно снижает частоту вынужденных остановок и расходы на обслуживание.

3. Экологическая безопасность

В отличие от химических методов, новая технология исключает использование реагентов, которые могут оказывать негативное влияние на окружающую среду. Это делает устройство особенно востребованным в условиях ужесточения экологических норм и требований к безопасной эксплуатации оборудования.

4. Экономическая эффективность

Благодаря уменьшению потребности в частой очистке и увеличению срока службы оборудования, применение скребка позволяет сократить расходы на капитальный ремонт и эксплуатацию до 80%. Конструкция устройства отличается высокой износостойкостью и не требует сложного технического обслуживания, что дополнительно снижает затраты.

5. Гибкость и адаптивность конструкции

Штанговый скребок может применяться на скважинах с различной архитектурой — как вертикальных, так и наклонных или горизонтальных. Конструкция адаптирована под насосно-компрессорные трубы и насосные штанги различных диаметров, что делает её универсальной для большинства эксплуатационных условий в нефтяной промышленности.

Основные элементы конструкции:

1. Корпус скребка - изготовлен из износостойкого металла и оснащён реверсивными зубцами и пластинчатыми пружинами, что обеспечивает эффективное удаление отложений со стенок труб.

2. Дугообразные пластинчатые пружины - обеспечивают фиксацию устройства на насосной штанге и создают необходимую силу трения для эффективной очистки внутренней поверхности труб.

3. Реверсивные зубцы - направляют движение скребка и предотвращают его обратный ход, обеспечивая последовательную циклическую очистку.

4. Реверсивные коммутаторы - верхний и нижний ограничивают рабочую зону скребка и обеспечивают смену направления его движения.

5. Предохранительное соединение - изготовлено из магнитного материала и служит для улавливания металлических примесей, предотвращая возможное заклинивание оборудования.

6. Реверсивный механизм - координирует движение скребка, обеспечивая его эффективную работу при каждом цикле возвратно-поступательного движения насосных штанг.

7. Ступенчатая пружина - позволяет адаптировать устройство к различным диаметрам насосно-компрессорных труб (НКТ), снижая уровень износа и поддерживая стабильную прижимную силу.

Конструкция устройства позволяет эффективно удалять отложения, снижая эксплуатационные затраты и повышая надёжность оборудования [1].

Принцип работы конструкции

Скребок устанавливается на насосную штангу между верхним и нижним реверсивными коммутаторами, ограничивающими рабочий участок. При движении насосной штанги вниз дугообразные пружины плотно прижимаются к внутренней поверхности НКТ, срезая отложения. Реверсивные зубцы фиксируют устройство, не позволяя ему двигаться в обратном направлении.

При изменении направления движения насосной штанги скребок проходит через расширительные камеры коммутаторов. В этот момент реверсивные зубцы изменяют своё положение, что позволяет устройству начать движение в обратную сторону, продолжая процесс очистки внутренних поверхностей труб. Основные технические параметры работы устройства представлены в таблице 1 [1].

Таблица 1 - Основные технические характеристики работы устройства

№	**Наименования**	**Свойства**
1	Диаметр НКТ	от 73 до 89 мм
2	Диаметр насосных штанг	19 мм и 22 мм
3	Длина рабочего участка	до 1500 м
4	Интервал очистки	от 3 до 100 суток
5	Максимальная кривизна скважины	до 3° на 100 м

Преимущества конструкции

Разработанное устройство позволяет осуществлять очистку трубопроводов в процессе эксплуатации скважины, без необходимости остановки добычи нефти. Это существенно снижает риск потерь добычи при техническом обслуживании.

Кроме того, конструкция скребка отличается высокой универсальностью: он может быть использован с различными типами насосов и адаптирован к различным условиям эксплуатации.

Еще одним важным преимуществом является экологическая безопасность устройства: для его работы не требуется применение химических реагентов, что снижает негативное воздействие на окружающую среду. Монтаж скребка не требует сложных технических операций, а обслуживание минимально, что делает его использование удобным и экономичным.

Сравнение с существующими методами

Проблема парафиновых отложений в нефтяной отрасли традиционно решается с помощью различных технологий: механических, химических, термических и их комбинаций. Каждая из этих методик имеет свои сильные и слабые стороны.

В рамках настоящего исследования проведён сравнительный анализ предлагаемого механического устройства — штангового скребка — с существующими методами удаления парафиновых отложений [10-15]. Основные результаты анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Сравнительный анализ предложенной технологии с существующими методами удаления парафиновых отложений

№	Критерий	Механические методы	Химические методы	Тепловые методы	Комбинированные методы	Предложенный штанговый скребок
1	Принцип работы	Механическое удаление парафина жесткими скребками	Растворение парафина химическими реагентами	Разогрев нефти и труб для плавления отложений	Совмещение химических, механических и тепловых методов	Очистка труб за счет возвратно-поступательного движения насосных штанг
2	Необходимость остановки добычи	Требуется для замены скребков	Нет, реагенты вводятся в поток	Требуется при обработке паром или горячей неф-тью	Частично, в зависимости от комбина-ции методов	Не требуется, очистка происходит во время эксплуатации
3	Энерго-эффек-тивность	Средняя, требует перио-дического извлечения скребков	Высокие затраты на химические реагенты	Высокие энергозатраты на нагрев	Высокие затраты на комплексную обработку	Высокая, не требует допол-нительного энергоснаб-жения
5	Экологи-ческая безопа-сность	Средняя, уда-ленные пара-фины могут потребовать утилизации	Низкая, химикаты могут загрязнять окружающую среду	Низкая, высокая энергоемкость и возможное разрушение пласта	Низкая, совмещение химии и нагрева усиливает негативные последствия	Высокая, не использует химические реагенты и энергоемкие процессы
7	Сложность внедре-ния	Средняя, требует замены оборудования	Средняя, необходимо оборудование для подачи химикатов	Высокая, требует установки на-гревательных систем	Очень высокая, требует сложной координации технологий	Низкая, легко интегрируется в существующую систему без модернизации
8	Необходи-мость постоян-ного контроля	Высокая, из-за износа механических частей	Высокая, требуется постоянное дозирование реагентов	Высокая, требуется контроль температуры	Очень высокая, требуется мониторинг всех используемых технологий	Низкая, работает автоматически в процессе эксплуатации
9	Долговеч-ность и надеж-ность	Средняя, требует регулярного обслуживания	Средняя, возможно накопление побочных продуктов в трубах	Низкая, частый перегрев может повредить пласт	Средняя, высокая сложность контроля процессов	Высокая, минимальный износ при длительном использовании

Преимущества и перспективы предлагаемой технологии

В отличие от традиционных механических методов, разработанная технология с автоматическим штанговым скребком обеспечивает непрерывную очистку трубопроводов без необходимости останавливать добычу нефти. Конструкция устройства с реверсивными коммутаторами и зубцами позволяет скребку перемещаться вдоль насосной штанги вверх и вниз, эффективно удаляя отложения в ходе эксплуатации. Такой подход позволяет значительно увеличить межочистной период (МОП) и, как следствие, снизить эксплуатационные расходы.

Предложенный метод механической очистки хорошо сочетается с существующими технологиями удаления парафина и в ряде случаев может их дополнять или заменять. Например, интеграция штангового скребка с периодической термической обработкой горячей нефтью позволяет уменьшить частоту термических промывок и сократить потребность в использовании химических реагентов [1].

Основные направления дальнейшего развития и совершенствования данной технологии представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Возможности дальнейшего применения и усовершенствования технологии

№	**Направление развития**	**Описание**
Расширение областей применения		
1	Горизонтальные и наклонные скважины	Адаптация конструкции скребка для работы в условиях сложной траектории скважин, включая многозабойные системы.
2	Высоковязкие нефти и осложненные условия добычи	Модификация устройства для работы с высоковязкими нефтями, содержащими большое количество асфальто-смоло-парафиновых отложений (АСПО).
3	Применение в штанговых глубинных насосах (ШГН)	Адаптация устройства к работе с разными диаметрами насосных штанг и насосно-компрессорных труб.
Технологическое усовершенствование		
1	Оптимизация материалов	Разработка более износостойких и антикоррозионных покрытий для продления срока службы устройства в агрессивных средах.
2	Улучшение конструкции реверсивного механизма.	Оптимизация реверсивной системы зубцов с целью обеспечения более плавного хода скребка, повышения эффективности очистки и снижения нагрузки на насосные штанги.
3	Снижение сопротивления трению	Улучшение конструкции пластинчатых пружин для снижения энергопотребления насосного оборудования.
Применение цифровых решений для повышения эффективности очистки		
1	Разработка интеллектуальных систем контроля работы очистных механизмов	
2	Внедрение систем предиктивной аналитики	Использование алгоритмов искусственного интеллекта для прогнозирования образования парафиновых отложений и оптимизации работы очистного устройства.
Комплексные методы борьбы с парафиновыми отложениями		

1	Интеграция механической очистки с применением химических ингибиторов парафинообразования	Применение механического скребка в сочетании с дозаторами ингибиторов для повышения эффективности борьбы с парафиновыми отложениями.
2	Интеграция с термическими методами	Оптимизация процесса депарафинизации за счет периодического применения тепловой обработки в сочетании с механической очисткой.
Масштабируемость и коммерциализация		
1	Широкое внедрение на казахстанских месторождениях	Использование технологии на месторождениях с высокой склонностью к парафинобразованию (Каражанбас, Жетыбай, Узень и др.).
2	Развитие экспортного потенциала	Адаптация технологии для применения на зарубежных нефтяных месторождениях с аналогичными эксплуатационными осложнениями (в России, Канаде, Китае, Бразилии).
3	Разработка передвижных систем очистки	Разработка автономных модулей для быстрого развертывания очистных систем на удалённых скважинах.

Таким образом, дальнейшее развитие и усовершенствование технологии позволит значительно повысить эффективность добычи нефти, снизить эксплуатационные расходы и минимизировать негативное воздействие парафиновых отложений на нефтедобывающую инфраструктуру.

Выводы. В рамках проведённого исследования было разработано и успешно протестировано механическое устройство для автоматической очистки насосно-компрессорных труб (НКТ) и насосных штанг от парафиновых отложений. Результаты анализа подтвердили, что по сравнению с традиционными методами очистки - механическими, химическими, термическими и комбинированными - предлагаемая технология обладает рядом существенных преимуществ:

- **Непрерывная очистка**: устройство функционирует в автоматическом режиме, обеспечивая очистку труб без остановки добычи нефти. Это позволяет значительно увеличить межочистной период (МОП) и сократить число внеплановых остановок скважин.

- **Экономическая эффективность**: отказ от дорогостоящих химических реагентов и тепловой обработки позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы.

- **Экологическая безопасность**: отсутствие химического воздействия минимизирует риск загрязнения окружающей среды и снижает коррозионную нагрузку на трубопроводы.

- **Простота эксплуатации**: скребок легко интегрируется в существующие насосные системы, не требуя сложной модернизации оборудования.

- **Универсальность**: конструкция устройства адаптирована для работы с насосно-компрессорными трубами различных диаметров и подходит для эксплуатации в условиях осложнённых парафиновыми отложениями скважин Казахстана.

Рекомендации по дальнейшему применению технологии:

- Расширить внедрение устройства на нефтедобывающих предприятиях Казахстана, особенно на месторождениях с высокой интенсивностью парафиновых отложений, таких как Тенгиз, Жетыбай и Каражанбас.

- Проводить регулярный мониторинг эффективности очистки для своевременной оптимизации рабочих параметров скребка в зависимости от конкретных условий добычи.

- Применять комплексный подход, сочетая механическую очистку с периодической термической обработкой в случае необходимости, для достижения максимальной эффективности.

- Продолжить исследования по повышению износостойкости материалов и адаптации конструкции скребка для работы в сложных геолого-технических условиях, включая горизонтальные и высоковязкие нефтяные скважины.

- Разработать автоматизированную систему мониторинга работы устройства, позволяющую в режиме реального времени отслеживать его состояние и эффективность очистки.

Литература

1. Патент № 7700. Способ очистки нефтяных насосно-глубинных скважин от парафина и других отложений / Сарсенбаев А. А., Жан Й. М., Карибай Е., Алтыбай Қ. А., Сарсенбаев М. А., Сарсенбаев Ж. А. - № 7700; заявл. 30.12.2022, опубл.30.12.2022.

2. Metaksa G.P., Alisheva Z.N., Metaksa A.S., Fedotenko N.A. Scientific and technical fundamentals of changing the properties of hydrocarbons in conditions of optimal subsoil use//Eurasian Mining. - 2023. - Vol. 2. - P.75–79. DOI 10.17580/em.2023.02.16.

3. Мастобаев Б.Н., Хасанова К.И., Дмитриев М.Е. Повышение эффективности применения средств и методов борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями в процессе транспорта нефти по магистральным трубопроводам//Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья.- 2013. - № 3. - С.7-12.

4. Зарипова Л.М., Габдрахимов М.С., Сулейманов Р.И., Галимуллин М.Л., Давыдов А.Ю., Хабибуллина Р.Г., Зарипов А.К. Современные методы очистки от асфальтосмолопарафиновых отложений // Sciences of europe. – 2017. №19 (19). – С.58-60.

5. Сатыева, Ю.П. Совершенствование очистки нефтесборных и насосно –компрессорных труб от АСПО /Ю.П. Сатыева, Л.М. Зарипова// В сборнике: Современные технологии в нефтегазовом деле2015 Сборник трудов международной научно-технической конференции: в 2 томах. - 2015. С. 133-139.

6. Афанасьев С. В., Волков В. А., Турапин А. Н. Очистка магистральных трубопроводов сложной конфигурации и переменного диаметра от отложений // Neftegaz- 2019. - № 12.-С.56-63.

7. Алшавка Х.Х. Пути решения проблемы очистки нефтепроводов от парафина и других отложений // Теория и практика современной науки. - 2021.- № 4 (70). -С.36-40.

8. Орлов А.И. Метод оперативного контроля состояния парафиновых отложений при очистке демонтированных нефтепроводных труб: Дисс. канд. техн. наук. Казань, Казанский гос. энергетический университет. - 2011. -129 с.

9. Патент РФ № 2344338. Способ определения толщины отложений на внутренней поверхности трубопроводов. Опубл.20.01.2009.

10. Подоплелов Е. В., Качан К. П., Тикунова Н. С. Методы депарафинизации нефтяных скважин // Вестник Ангарского Государственного Технического Университета. - 2024. - Т.1(18).- С.109-112.

11. Глущенко, В. Н. Предупреждение и устранение асфальтеносмолопарафиновых отложений // Нефтепромысловая химия. - 2009. – 475 с. ISBN 9785902063407

12. Хоффман Р., Амундсен Л. Способ удаления парафина и измерения его толщины // Патент EA018505B1. - 2013.

13. Хохлов, Н. Г. Удаление асфальто-смолистых веществ и парафина из нефтепроводов НГДУ «Южарлан - нефть» // Нефтяное хозяйство.- 2006. -№ 1. - С.110-111.

14. Lebedev A., Cherepovitsyn A. Waste Management during the Production Drilling Stage in theOil and Gas Sector: A Feasibility Study // Journal of Petroleum Science and Engineering. - 2024. – 13 (12). - 26. DOI 10.3390/resources13020026 .

15. Sotnikov G., Balakirev V. A., Tkach Yu. V., Yatsenko T. Yu. High-Frequency Method of Removal of Paraffin Plugs in the Equipment of Oil Wells and Oil Pipelines// Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2002.- Vol.75. - No 5. - 2002. DOI 10.1023/A:1021180027735.

References

1. Patent № 7700. Sposob ochistki neftjanyh nasosno-glubinnyh skvazhin ot parafina i drugih otlozhenij / Sarsenbaev A. A., Zhan J. M., Karibaj E., Altybaj Қ. A., Sarsenbaev M. A., Sarsenbaev Zh. A. - № 7700; zajavl. 30.12.2022, opubl.30.12.2022. [in Russian]

2. Metaksa G.P., Alisheva Z.N., Metaksa A.S., Fedotenko N.A. Scientific and technical fundamentals of changing the properties of hydrocarbons in conditions of optimal subsoil use//Eurasian Mining. - 2023. - Vol.2. - P.75–79. DOI 10.17580/em.2023.02.16.

3. Mastobaev B.N., Hasanova K.I., Dmitriev M.E. Povyshenie jeffektivnosti primenenija sredstv i metodov bor’ by s asfal’ tosmoloparafinovymi otlozhenijami v processe transporta nefti po magistral’ nym trubo provodam // Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr’ ja.- 2013. - № 3. - S.7-12. [in Russian]

4. Zaripova L.M., Gabdrahimov M.S., Sulejmanov R.I., Galimullin M.L., Davydov A.Ju., Habibullina R.G., Zaripov A.K. Sovremennye metody ochistki ot asfal’ tosmoloparafinovyh otlozhenij // Sciences of europe. – 2017. №19 (19). – S.58-60. [in Russian]

5. Satyeva, Ju.P. Sovershenstvovanie ochistki neftesbornyh i nasosno –kompressornyh trub ot ASPO /Ju.P. Satyeva, L.M. Zaripova// V sbornike: Sovremennye tehnologii v neftegazovom dele2015 Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii: v 2 tomah. - 2015. S. 133-139. [in Russian]

6. Afanas’ ev S. V., Volkov V. A., Turapin A. N. Ochistka magistral’ nyh truboprovodov slozhnoj konfiguracii i peremennogo diametra ot otlozhenij // Neftegaz- 2019. - № 12.-S.56-63. [in Russian]

7. Alshavka H.H. Puti reshenija problemy ochistki nefteprovodov ot parafina i drugih otlozhenij // Teorija i praktika sovremennoj nauki. - 2021. - № 4 (70). -S.36-40. [in Russian]

8. Orlov A.I. Metod operativnogo kontrolja sostojanija parafinovyh otlozhenij pri ochistke demontirovannyh nefteprovodnyh trub: Diss. kand. tehn. nauk. Kazan’, Kazanskij gos. jenergeticheskij universitet. - 2011. -129 c. [in Russian]

9. Patent RF № 2344338. Sposob opredelenija tolshhiny otlozhenij na vnutrennej poverhnosti truboprovodov. Opubl.20.01.2009. [in Russian]

10. Podoplelov E. V., Kachan K. P., Tikunova N. S. Metody deparafinizacii neftjanyh skvazhin // Vestnik Angarskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta. - 2024. - T.1(18).- C.109-112. [in Russian]

11. Glushhenko, V. N. Preduprezhdenie i ustranenie asfal’ tenosmoloparafinovyh otlozhenij // Neftepromyslovaja himija. - 2009. - 475 s. ISBN 9785902063407. [in Russian]

12. Hoffman R., Amundsen L. Sposob udalenija parafina i izmerenija ego tolshhiny // Patent EA018505B1. - 2013. [in Russian]

13. Hohlov, N. G. Udalenie asfal’ to-smolistyh veshhestv i parafina iz nefteprovodov NGDU «Juzharlan - neft’» // Neftjanoe hozjajstvo.- 2006. -№ 1. - S.110-111. [in Russian]

14. Lebedev A., Cherepovitsyn A. Waste Management during the Production Drilling Stage in theOil and

Gas Sector: A Feasibility Study // Journal of Petroleum Science and Engineering. - 2024. – 13 (12). - 26. DOI 10.3390/resources13020026 .

15. Sotnikov G., Balakirev V. A., Tkach Yu. V., Yatsenko T. Yu. High-Frequency Method of Removal of Paraffin Plugs in the Equipment of Oil Wells and Oil Pipelines// Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2002.- Vol.75. - No 5. - 2002. DOI 10.1023/A:1021180027735.

Сведения об авторах

Алишева Ж.Н.- PhD, и.о. доцента, Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: zhannat_86.2007@mail.ru;

Сарсенбаев М.А.- ТОО ”Научно-технологический парк” КазНУ имени аль-Фараби, Директор, Алматы, Казахстан, e-mail: mukhtar.sarsenbaev@mail.ru;

Сарсенбаев Ж.А., ТОО «Инновации Плюс», специалист, Алматы, Казахстан, e-mail: zhasstin@mail.ru.

Information about the authors

Alisheva Zh.N.- Doctor PhD, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: zhannat_86.2007@mail.ru;

Sarsenbayev M.A.- Director of ”Scientific and Technological Park of Al-Farabi Kazakh National University” LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: mukhtar.sarsenbaev@mail.ru;

Sarsenbaev Z.A.- Engineer, Innovation Plus LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: zhasstin@mail.ru.

ҒТАМР 52.47.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-913**

ТҰТҚЫРЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ МҰНАЙДЫ ӨНДІРУДЕ ҰҢҒЫМАНЫҢ ТҮП АЙМАҒЫН ӨҢДЕУ ӘДІСТЕРІ

[1]М.У. Калменов, [2]М.Г. Абдуллаев, [1]С.Е. Байботаева, [1]А.С. Садырбаева

[1]Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
[2]Әзірбайжан Республикасының Мұнай және газ институты, Баку,Әзірбайжан
Корреспондент-автор: sbaibotaeva@mail.ru

Бұл мақалада ұңғыманың түп аймағын өңдеу тиімділігін арттырудағы жаңа әдіс әзірленген, жылутасығышты ұңғыманың түп аймағына енгізу арқылы, оның құрамының еру қабілетін, өндіруші ұңғымалардың түп аймағы бөлігін өңдеу кезінде ерімейтін шөгінділердің еру жылдамдығы мен көлемін, сонымен қатар, қабатқа терең енуді арттыру болып табылады.

Бұл композиция қабаттардың мұнаймен қаныққан кеуектеріне енген кезде, скипидар жақсы еріткіш ретінде мұнай-қышқыл эмульсияларының тұрақтылығын айтарлықтай төмендетеді және және ұңғыманың түп аймағындағы калий бихроматының сулы ерітіндісінің скипидармен кейінгі реакциясы күшейеді және реакцияның қабаттан тыс жерде ығысуымен байланысты құрамның қабаттан шығуына қарай жалғасады. Қолданылатын композиция ароматты көмірсутектермен, сондай-ақ парафиндермен әрекеттеседі. Реакциялар нәтижесінде әр түрлі қышқылды күрделі эфирлер алынады, олар фазааралық керілуді төмендетеді, ингибиторлық әсерді арттырады, тау жынысы ұңғымасының кеуектеріндегі ауыр мұнай компоненттерінің шөгінділерін ерітеді және ұңғы түбінің және қабаттың шалғай аймағының өткізгіштігін қалпына келтіреді, нәтижесінде қабаттан ұңғымаға мұнай ағыны жақсарады.

Түйін сөздер: түп қабат аймағы, өткізгіштік, мұнай, су, калий бихроматы

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИНЫ ПРИ ДОБЫЧЕ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ

[1]М.У. Калменов, [2]М.Г. Абдуллаев, [1]С.Е. Байботаева, [1]А.С. Садырбаева

[1]Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
[2]Институт нефти и газа Азербайджанской Республики,Баку, Азербайджан,
e-mail: sbaibotaeva@mail.ru

В данной статье разработан новый способ, задачей которого является повышение эффективности обработки призабойной зоныскважины, за счет введения в призабойную зону теплоносителя, которая повышает растворяющую способность состава, скорость и объем растворения труднорастворимых отложений при обработке призабойной зоны добывающих скважин, а также глубоко проникающий в пласт.

При попадании данного состава в нефтенасыщенные поры пласта, скипидар как хороший растворитель, существенно снижает стойкость нежелательных нефтекислотных эмульсий и дальнейшая реакция водного раствора бихроматакалия соскипидаром усиливается в призабойной зонескважины и продолжения реакции в глубине пласта за счет вытеснение состава с газом извне. Применяемый состав реагируется с ароматическими углеводородами, а также с парафинами. В результате реакций получаются различные кислые эфиры, которые позволяют уменьшить межфазное натяжение, увеличить ингибирующее действие, хорошо растворяют отложения тяжелые компоненты нефти в порах породы и восстанавливают проницаемость призабойной и удаленной зоны пласта, в результате чего улучшается приток нефти из пласта к скважине.

Ключевые слова: призабойная зона пласта, проницаемость, нефть, вода, бихромат калия.

METHODS OF PROCESSING THE BOTTOMHOLE ZONE OF A WELL DURING THE EXTRACTION OF HIGH-VISCOSITY OILS

[1]M.U. Kalmenov, [2]M.Q. Abdullayev, [1]S.Ye. Baibotayeva✉, [1]A.S. Sadyrbayeva

[1]M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,
[2]Institute of oil and gas of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan,
e-mail:sbaibotaeva@mail.ru

In this article, a new method has been developed, the task of which is to increase the efficiency of processing the bottomhole zone of a well by introducing a coolant into the bottomhole zone, which increases the solubility of the composition, the rate and volume of dissolution of difficult-to-dissolve deposits during processing of the bottomhole zone of producing wells, as well as penetrating deeply into the reservoir.

When this composition enters the oil-saturated pores of the reservoir, turpentine, as a good solvent, significantly reduces the resistance of undesirable petroleum acid emulsions and the further reaction of an aqueous solution of potassium bichromate with turpentine increases in the bottomhole zone of the well and the continuation of the reaction in the depth of the reservoir due to the displacement of the composition with gas from the outside.The applied composition reacts with aromatic hydrocarbons, as well as with paraffins. As a result of the reactions, various acid esters are obtained, which reduce the interfacial tension, increase the inhibitory effect, well dissolve deposits of heavy oil components in the rock pores and restore the permeability of the bottomhole and remote zone of the reservoir, resulting in improved oil flow from the reservoir to the well.

Keywords: bottom-hole formation zone, permeability, oil, water, potassium bichromate

Кіріспе. Қабаттың түп аймағы белгілі болғандай, ерекше аймақ болып табылады, өйткені, мұнда қысымның, температураның өзгеруі, ауыр мұнай компоненттерінің шөгуі және т.б. сияқты күрделі процестер жүреді. Бұл процестердің барлығы ұңғыма өнімділігіне, әсіресе ньютондық емес мұнайларды пайдаланатын өндіру ұңғымаларының жұмысына кері әсер етеді.

Кен орындарын игеру кезінде қабат қысымын ұстап тұру үшін қабатқа суық су айдалатыны белгілі. Бұл қабат температурасының айтарлықтай төмендеуіне әкеліп соғады, бұл ұңғыма түбіндегі мұнайдың құрамындағы ауыр компоненттердің тұндырылуына әсер етеді және қабаттың кеуектерінің бітелуіне әкеледі. Капиллярлық арналардың құрылымымен сипатталатын қабаттың бастапқы негізгі өткізгіштігі асфальтты-шайырлы және парафинді шөгінділердің әсерінен бұзылады және қабаттың ұңғы аймағының өткізгіштігінің төмендеуі орын алады.Нәтижесінде көмірсутектерді бастапқы өндірудің мәнін қалпына келтіру мақсатында ұңғы түбінің түзілу аймағына әсер ету қажеттілігі туындайды.

Қабаттың өнімділігін арттыру үшін ұңғыма түбіне әсер ету қабаттың түп аймағының өткізгіштігін қалпына келтіруді қамтиды. Қышқылдық, термиялық, химиялық, термохимиялық және т.б көптеген ғылыми еңбектер ұңғы түбінің түзілу аймағының өткізгіштігін қалпына келтіру мәселелеріне арналған. әдістері. Ұңғыманың түп аймағына қышқылдық әсер ету механизмі тау жыныстарының қаңқасының белгілі бір бөлігінің және әртүрлі шөгінділердің қышқылмен әрекеттесуі нәтижесінде мұнай өндіру жылдамдығының қалпына келуіне негізделген.

Ұңғымаларды қышқылмен өңдеу процесі - бұл ұңғыманы пайдалану кезінде ұңғыманың түп аймағын тазартуды, яғни ұңғыманың түп аймағын тұздардан, парафинді-шайырлы шөгінділерден және коррозия өнімдерінен тазартуды, ұңғыманың түп аймағындағы тау жыныстарының өткізгіштігін арттыруды, сондай-ақ бұрғылаудан кейін ұңғыманы игеру кезінде, ұңғыманың түп аймағын қайта бұрғылаудан тазартуды қамтитын операция. Қарапайым қышқылдандыру, ең алдымен, өткізгіштігін қалпына келтіру немесе арттыру үшін ұңғыма оқпанының жа-

нындағы қабатқа енуге арналған. Процесс жоғары қысыммен қабатқа қышқылды айдау арқылы жүзеге асырылады.

Ұңғыманың түп аймағы - бұл қабаттардың ұңғыманың түп аймағына тікелей іргелес жатқан бөлігі (радиусы 2-3 метр цилиндрлік бөлік). Қабаттың бұл бөлігінде сұйықтықтың сүзілу жылдамдығы өзгереді, қысым төмендейді, ауыр мұнай құрамдастары шөгеді, энергия шығыны мен ағынның кедергісі максималды жоғары болады. Қабаттың төменгі қабатының шамалы ластануы да ұңғыманың өнімділігін айтарлықтай төмендетеді. Ұңғыманың түп аймағының өткізгіштігін қалпына келтіру немесе арттыру қабаттардың ұңғыманың түп аймағына сыртқы әсер ету немесе қабаттарда пайда болған шөгінділердің еруі негізінде жүзеге асырылады.

Пайдалану процесінде өндіру және айдау ұңғымаларының түп аймағының өткізгіштігінің төмендеуінің негізгі себептеріне келесі факторлар жатады:

- температура мен қысым жағдайлары өзгерген кезде мұнайдың асфальтенді-шайырлы-парафинді құрамдас бөліктері немесе ілеспе қабат суларынан тұздардың ағуы баяулайды және шөгеді;

- ұңғымаларды ағымдағы және күрделі жөндеу кезінде ұңғымаға бітелткіштер (ағын су немесе теңіз суы) немесе жуу сұйықтығының түсуі;

- су-мұнай эмульсиясының түзілуі;

- саз бөлшектерін тұщы сумен қанықтыру кезінде терригендік қабаттардың цементтелуінің ісінуі;

- ұңғымаларды сөндіру немесе шаю кезінде механикалық қоспалар мен металл коррозиясы өнімдерінің ұңғыманың түп аймағына енуі және т. б.

Ұңғыманың түбінің аймағына әсер ету үшін жұмысшы агентінің құрамын таңдау кезінде оның келесі критерийлерге сәйкестігін қамтамасыз ету маңызды:

- құрам ұңғыма түбінің аймағының қажетті тереңдігіне дейін енуіқажет;

- құрам жыныспен, оны қанықтыратын сұйықтықтармен немесе кольмотанттармен әрекеттескеннен кейін қайта ерімейтін шөгінділерді тудырмауы керек;

- реагенттер ұңғымаларды жөндеуде, қабат суларында және басқа технологиялық сұйықтықтарда қолданылатын тығындау ерітінділерімен үйлесімді болуы және мұнай өндіруге, оны тасымалдауға және оны тазартудың технологиялық сатыларына кері әсер етпеуі керек;

- құрамның компоненттері мүмкіндігінше аз улы болуы керек.

Ұңғыманың түп аймағын тазалау технологиясының негізгі принциптері:

- химиялық реагенттердің кольматтаушы заттарға әсер етуіне байланысты перфорациялау арналары мен ұңғының түп аймағының жағдайын шектеумен ұңғы түбінің қабат аймағының өткізгіштігін қалпына келтіру немесе жоғарылату, сондай-ақ өнімділікті арттыру немесе қабатқа су айдау мүмкіндігін арттыру;

- қабаттың түптік ұңғыма аймағына жақын жерде де, шалғай бөліктерінде де тау жыныстары қаңқасының кеуекті кеңістігінің құрылымына әсер ету нәтижесінде ұңғымалардың өнімділігін немесе қатаю қабілетін арттыру;

- айдалатын химиялық реагенттермен физикалық және химиялық өзара әрекеттесу кезінде колматанттың жойылуы және т. б.

Материалдар мен әдістер. Аталған бағыттар бойынша көптеген ғылыми мақалалар, технологиялар, композициялар мен әдістер, сондай-ақ қойылған мақсаттарға жету үшін түрлі химиялық реагенттер пайдаланылған патенттік жұмыстар жарияланды. Төменде осы жұмыстардың кейбірін қарастыру ұсынылады.

Әдістердің [1] бірінде мұнай ұңғымасының ұңғыма түбінің аймағын өңдеу ұңғыма сұйықтығымен (негізгі су) толтырылған ұңғыманың өңделген интервалына ұңғыма сұйықтығынан оқшауланған зат түріндегі гидрореактивті құрамды (ГРҚ) жеткізуді қамтиды. Гидрореактивті құрам ұңғыма сұйықтығының суымен гетерогенді химиялық реакцияға түсу, нәтижесінде жылу және газ тәрізді өнімдер бөлініп, гидро-

реактивті құрамды ұңғыма сұйықтығымен жанасу арқылы химиялық реакцияны бастау қасиеттеріне ие болады.Процессте алюминий хлоридінің кем дегенде түйіршіктері және алюминий хлориді үшін еріткіш болып табылмайтын органикалық мұнай шөгінділері үшін еріткіш бар гидрореактивті композиция қолданылады. Бұл әдісті қолданғанда реакция ұңғыманың перфорация аймағының ішінде жүреді. Бұл экзотермиялық реакция нәтижесінде бөлінетін жылудың жоғалуына ықпал етеді.

Ұсынылған әдісте [2], өнімді қабаттың термохимиялық өңдеуі тазарту аймағына жанғыштотықтырғыш құрамды айдауды және жану инициаторын өңдеу аймағына жіберуді қамтиды, ол сілтілі металдың боргидридіне және метанолға немесе диэтил эфиріне негізделген композиция 5-40 масс.% мөлшерінде пропилкарборан 5 - 25 масс.% мөлшерінде сілті, немесе қатты изопропилкарборанның мөлшері 5 - 40 мас.% болып табылады.

Жану инициаторы тығыздалған контейнерді мұнайкәсіпшіліктегі бұрғылау ұршығы арқылы сорапты және компрессорлық құбырлар колоннасына түсіру арқылы жеткізіледі, содан кейін шнурлы торпедасын жару арқылы контейнер жойылады. Шнур торпедасы контейнердің бүкіл ұзындығы бойынша орнатылады.

Сонымен қатар, қабаттың түп аймағын ыстық қышқылмен (термоқышқыл) өңдеу әдісі қолданылды [3]. Бұл әдіс формальдегид ерітіндісінде тасымалдаушы сұйықтық ретінде кездесетін түйіршіктелген немесе ұнтақ магний қабаттың түп аймағынабөлек айдаудан, сондай-ақ онымен әрекеттесетін химиялық реагент ретінде аммоний хлоридінің сулы ерітіндісін бөлек инъекциялаудан тұрады.

Бұл жағдайда құбырға енгізілген ерітінділер арасындағы реакциядан бөлінетін жылуды жоғалтуды болдырмау үшін оларды енгізу арасында да, соңғы компонентті айдаудан кейін де буферлік сұйықтық айдалады. Бұл қабаттың түп аймағында термохимиялық әсердің пайда болуын қамтамасыз етеді.

Бірақ бұл жағдайда реакциядан бөлінетін жылу мұнайдың ауыр компоненттерінің толық еруі үшін жеткіліксіз және сазды жыныстардағы саздардың ісінуі мүмкін.

Ерітіндіні жоғары температураға дейін алдын ала қыздыру арқылы ұңғы түбінің түзілу аймағын әлсіз қышқылдармен өңдеудің тағы бір әдісі белгілі [4]. Бұл жағдайда термиялық әрекет тау жынысындағы химиялық реагенттермен біріктіріледі. Қышқыл алдын ала қыздырылған суға немесе буға енгізіледі. Қышқылды суға немесе буға енгізгеннен кейін алынған температура мақсатқа жету үшін жеткіліксіз болып, жұмыс көп еңбекті қажет етеді.

Құрамында фтор қышқылы, тұз қышқылы және су бар ұңғы түбінің түзілу аймағын өңдеуге арналған қышқыл ерітіндісі де белгілі [5]. Бұл ерітінді іс жүзінде карбонатты жыныстарды ерітпейді, өйткені фтор қышқылының карбонаттармен әрекеттесуі реакцияға кедергі келтіретін және ұңғыма жабдығын қатты коррозияға ұшыратын нашар еритін флюорит шығарады.

Нейтралдау тиімділігін арттыру және қышқыл ерітіндісінің ену тереңдігін жоғарылату үшін қышқылды айдау алдында гидрофобты эмульсияны айдауымен ерекшеленетін қышқылдық және гидрофобты эмульсияның ерітінділерін айдаудан тұратын мұнай қабатының ұңғы аймағын қышқылмен өңдеу әдісі тәжірибеде де қолданылды [6]. Бұл шешімнің кемшілігі – ұңғы түбінің түзілу аймағын өңдеудің төмен тиімділігі, сонымен қатар қабат тереңдігіне аз ғана енуі болып табылады.

Тұз қышқылын ұңғыма аймағына айдау арқылы ұңғымаларды өңдеу үшін қолдану әдісі белгілі [7]. Дегенмен, тұз қышқылы терригендік жыныстарды өте нашар ерітеді, сонымен қатар ұңғымалардың түбі аймағын өңдеу кезінде жабдықты қатты тоттандырады. Бұл композицияның тағы бір кемшілігі - ұңғыманың түбін қалыптастыру аймағын тазалау сапасының төмендігі.

Жұмыста [8] ұңғымалардың түбі аймағын тазалауға арналған композиция ұсынылған, оның құрамдас бөліктері тұз қышқылы мен натрий гидроксидінен тұрады. Бұл компоненттер бір-

бірімен әрекеттескен кезде экзотермиялық реакция пайда болады, нәтижесінде үлкен мөлшерде жылу бөлінеді. Бірақ құрамында тұз қышқылының болуы ұңғыма жабдығының коррозиясын тудырады және реакция кезінде бөлінетін жылу өте жоғары емес.

Өндіруші ұңғымалардың өнімділігін арттыру үшін қабаттың төменгі бөлігін өңдеу кезінде көптеген жұмыстар белгілі екенін атап өткен жөн. Бұл жұмыстарға гидродинамикалық, физика-химиялық, термиялық, термохимиялық және т.б. әдістер кіреді [9].

Ұңғыма аймағын өңдеудің келесі белгілі әдісі - түйіршіктелген магний мен тұз қышқылын айдау [10]. Бұл әдіс түзуді тереңірек қыздыру және процесті жеделдету есебінен өңдеу процесінің тиімділігін арттыру үшін магний мен қышқылды айдау бір мезгілде, ал айдау бөлек жүргізілетіндігімен ерекшеленеді.Дегенмен, бұл шешім ұңғы түбінің түзілу аймағын өңдеуде, сондай-ақ қабат тереңдігіне енуде тиімділігі төмен. Бұл жағдайда ұңғыманың түбі аймағында да шөгінділер пайда болуы мүмкін.

Мұнай-газ ұңғымасының түптік аймағын өңдеу әдісі де қолданылады, ол қабаттың түптік ұңғыма аймағына газ тәрізді хлорлы сутегін айдаудан тұрады. Бұл әдіс өңделетін аймақтың өткізгіштігі мен көлемін арттыру үшін ұңғымада соңғысын хлор мен сутегі қоспасымен толтыру арқылы ұңғыма сағасындағы жарылыс жағдайынан аспайтын қысыммен хлорсутек алуымен ерекшеленеді. Бұл әдістің кемшілігі - төмен тиімділік және технологиялық қиындықтар болып табылады.

Жұмыс [11] ұңғы түбінің аймағын ыстық су немесе бу айдау арқылы өңдеудің ерекше әдісін ұсынады. Бастапқыда агенттер 80 ^{0}С температураға дейін қызады. Содан кейін сол ұңғымаға алдын ала 120 ^{0}С дейін қыздырылған 8-15% HCl ерітіндісі айдалады. Біраз уақыт әрекетсіз болғаннан кейін ұңғыма пайдалануға беріледі.

Сондай-ақ ұңғыманың түптік қабат аймағын термохимиялық өңдеу арқылы ұңғыма өнімділігін арттыру әдісі белгілі [12]. Ұсынылған әдісте өңдеудің тиімділігі ұңғыма аймағына жылу тасымалдағышты енгізу арқылы жоғарылайды, бұл композицияның еріту қабілетін арттырады. Қолданылатын композиция хром қышқылының (хромангидридінің сулы ерітіндісі) және метанолдың (немесе төменгі спирттердің) қоспасы болып табылады. Композициялар ұңғыманың түбінің түзілу аймағына бірінен соң бірі айдалады: бірінші хром қышқылы, содан кейін төменгі спирттер (мысалы, метанол) немесе керісінше.

Сондай-ақ ұңғыманың түбіне тасымалдаушы сұйықтық пен химиялық реагенттегі өзара әрекеттесетін түйіршіктелген немесе ұнтақталған магнийді ұңғыма түбіне бөлек енгізуден тұратын ұңғыманың түбінің түзілу аймағын термиялық қышқылмен өңдеу әдісі енгізілді, мұнда формальдегидтің сулы ерітіндісі ұңғыма түбіне тасымалдаушы сұйықтық ретінде енгізіледі, ал аммонийдің реактивті ерітіндісі болып табылады. Бұл жағдайда ерітінділерді айдау алдында олардың арасында және ұңғымаға айдаудан кейін буферлік сұйықтық айдалады. Бұл әдістің кемшілігі - процестің көп сатылылығы, сонымен қатар тиімділігінің төмендігі.

Жұмысында [13] жұмыс істеп тұрған ұңғымалардың өнімділігін арттыратын көптеген әдістер ұсынылған, мысалы, күрделі ішкі қабатты термоқышқылды өңдеу, сонымен қатар жер асты, ядролық (мысалы: атомдық) жарылыстар, қабаттың төменгі қабатына химиялық әсер ету әдістері, өнімді қабаттардың төменгі қабатының гидрожаруы және т.б. бұл әдістерді қышқыл ретінде қолданған кезде негізінен тұз қышқылы қолданылған.

Жұмыста [14] жұмыс істеп тұрған ұңғымалардың өнімділігін арттырудың көптеген әдістері ұсынылған, мысалы, күрделі жерасты термиялық қышқылды өңдеулер, сондай-ақ жер асты ядролық (мысалы: атомдық) жарылыстар, ұңғыма түбіне химиялық әсер ету әдістері, өнімді қабаттардың ұңғыма түбінің аймағын гидравликалық жару және т.б. Бұл әдістерді қолданғанда қышқыл ретінде негізінен тұз қышқылы қолданылды.

Қабаттың түп аймағын термохимиялық өңдеу әдісі [15] ұсынылған. Әдістеме бойынша өнімді қабаттың түбінің ұңғыма аймағына жанғыш-

тотықтырғыш композиция айдалады. Құрамына келесі компоненттер кіреді: карбамид, азот қышқылы, сірке қышқылы, калий перманганаты, карборан, аммиякты селитра және массалық % үлесіне сәйкес мөлшерде су. Сонымен қатар, жанғыш-тотықтырғыш құрамы орналасқан аймаққа келесі құрамдас бөлігі бар жану инициаторы енгізіледі: алюминий 10-30, хром оксиді 70-90. Енгізілген жану инициаторының мөлшері жанғыш-тотықтырғыш құрамның құрамдас бөліктерінің массасының 10% аспайды. Карборан ретінде изопропилметакарборан қолданылады. Бұл әдісті қолдану жаңа ұңғымаларды игеру процесінің тиімділігін арттыруға және жұмыс істеп тұрған ұңғымалардан ағынды күшейтуге мүмкіндік береді.

Дегенмен, ұсынылған әдісте қолданылатын композиция көп компонентті және оны өндірістік жағдайларда, әсіресе теңіз жағдайында дайындау мүмкін емес.

Өнімді қабаттарды термохимиялық өңдеу әдісі [16] белгілі. Бұл әдісте қабаттың өңделу аймағына жанғыш тотықтырғыш қосылыс (ЖТҚ) айдалады, содан кейін өңделу аймағына жану инициаторы енгізіледі. Жану инициаторы металл гидридіне немесе металлоидқа негізделген қатты немесе сұйық қосылыс болып табылады. Атап айтқанда, сілтілі металл борандар сияқты тұз гидридтерін қолдануға болады. Металоидты гидрид негізіндегі жану инициаторының сұйық құрамы құрамдастардың тиісті массасында % диэтил эфирі немесе метил спирті сияқты органикалық еріткіш негізіндегі бордың суспензия ерітіндісі болуы мүмкін.

Жану инициаторын өнеркәсіптік көтергішті пайдалана отырып, тығыздалған контейнерді сорғы мен компрессорлық құбырлар бағанына түсіру, содан кейін көтеру кабелінің ұштары сорапты- компрессорлы құбырларының аяқшасындағы қуат көзіне тигеннен кейін контейнердің бүкіл ұзындығы бойынша орнатылған кері зарядты жару арқылы контейнерді жою арқылы енгізу ұсынылады.

Көріп отырғаныңыздай, бұл әдісті қолдану өте көп еңбекті қажет етеді және көптеген жабдықты және қолдануға ерекше көзқарасты қажет етеді.

Мұнай қабатының ұңғыма маңындағы аймағын термохимиялық өңдеу әдісі белгілі [17]. Әдіс құрамында оттегі бар органикалық қосылыстар немесе олардың қоспасы және натрий нитритінің сулы ерітіндісі бар отын тотықтырғыш құрамын (ОТҚ) түзілу аймағына кезекпен айдаудан тұрады.

Қабатқа реагенттерді айдағаннан кейін ұңғыма маңындағы аймақта қабатішілік жану жүреді, ұңғыма ішіндегі экзотермиялық реакцияның индукциялық кезеңі 100 минуттан астам уақытты алады, ал ұңғыманы өңдеудің жалпы уақыты 400 минутқа жетеді, бұл ұңғыма ішілік өңдеу әдісін кеңінен қолданудың негізгі шектеуі болып табылады.

Қабатты термохимиялық өңдеудің тағы бір әдісі [18] белгілі, ол құрамында аммоний селитрасының (аммоний нитраты), аммоний хлориді немесе аммоний фосфатының сулы ерітіндісі бар жанғыш-тотықтырғыш құрамды өнімді түзілу аймағына айдау және жану инициаторын (тотықтырғыш зат, жанғыш зат орналасқан ұнтақ орналасқан жер) енгізу кіреді. Өте ұзақ өңдеу уақыты (~130 с), жарылғыш заттарды қолдану және әдісті біршама күрделі ұйымдастыру оны пайдалану мүмкіндіктерін шектейді.

Көптеген осы бағыттағы орындалған еңбектерді зерттеу нәтижелері бойынша бұл әдістердің ешқайсысы әмбебап емес екенін және оларды қолдануда әлі де көптеген қиындықтар бар екенін көрсетті. Кейде бұл әдістерді қолдануда пайдаланатын композициялар көп компонентті, кейде композицияның кейбір компоненттері қымбат болады, кейде оларды дайындауда қиындықтар туындайды, әсіресе оларды өндірістік жағдайда дайындау мүмкін еместігін көрсетті.

Осы қиындықтардың барлығын ескере отырып, ұңғыманың түп аймағына және қабаттың тереңірек қабаттарына әсер ету мүмкіндігін, сондай-ақ кәсіпшілік жағдайында дайындаудың қарапайымдылығын ескеретін жаңа әдіс әзірленді. Тағы бір артықшылығы – бұл әдісте қолданылатын композицияның құрамдас бөліктері Қазақстан Республикасында өндіріледі.

Нәтижелер және талқылау. Ұсынылып отырған әдістің мақсаты – ұңғыманың түптік аймағын өңдеу кезінде нашар еритін шөгінділердің жылдамдығы мен көлемін ұлғайту арқылы ұңғыма түбінің түзілу аймағына жылу тасымалдағышты енгізу арқылы өңдеудің тиімділігін арттыру, сондай-ақ ұңғыманың түбіндегі тереңдікте түзілу мүмкіндігін туғызу.

Бұл мақсатқа жету үшін алдымен натрий бихроматының (немесе калий бихроматының) сулы ерітіндісін қабаттың ұңғыма аймағына тазарту ерітіндісін тереңірек енгізу үшін тотықтырғыш ретінде ұңғыма оқпанына айдап, содан кейін скипидардың есептелген мөлшерін ұңғыма оқпанына айдағанда, экзотермиялық реакция пайда болады. Осыдан кейін, қоспа жоғары қысымды газбен ұңғыма түбінің аймағынан қабаттың тереңдігіне ығыстырылады, нәтижесінде бөлінетін жылу және жақсы еритін реакция өнімі қабат түбінің ұңғы аймағының тереңдігіне түседі.

Скипидар негізінен терпенді көмірсутектердің $C_{10}H_{16}$ күрделі қоспасы, өзіне тән қарағай иісі бар мөлдір, түссіз, ұшқыш сұйықтық болып табылады. Скипидар полярлы емес органикалық еріткіштерде, этанолда, ацетонда жақсы ериді және суда ерімейді. $T_{кип}$=153–180 ^{0}C, d^{20}_4=0,855–0,865, n^{20}_d=1,460–1,478.

Құрамындағы терпенді көмірсутектер сияқты скипидар өте белсенді және ауада, әсіресе жарықта химиялық тотықтырғыштармен (концентрлі HNO3, хромангидрид және т.б.) оңай тотығады. Скипидар жану арқылы тотығады.

Құрамдас бөліктерді ұңғыма оқпанының аймағына осы ретпен айдаған кезде, «жоғары қысым мен жылу көзі» ретінде әрекет ететін көп мөлшерде жылу мен газдардың бөлінуімен термохимиялық реакция жүреді. Осыған байланысты бөлінетін газ өңдеуге арналған компоненттердің тотығу реакциясының әсерінен қыздырылған қоспаны қабаттың тереңдіктеріне енгізеді, ал әлсіз жарылыстардың әсерінен реакция қабаттың түбі аймағының үлкен тереңдігін қамтиды. Осыдан кейін температура 500-600°C-тан жоғары көтеріледі, бұл ұңғыманың түп аймағында мұнайдың ауыр компоненттерінің еруіне және сол арқылы ұңғыманың түп аймағының өткізгіштігінің жоғарылауына әкеледі.

Жұмыс аяқталғаннан кейін ұңғыма 1,0 – 2,0 сағатқа жабылады. Бұл уақыт мұнайдың ауыр құрамдас бөліктерін ұңғы аймағының кеуектерінде және қабат тереңдігінде еріту және өңделген ерітіндіні қабатқа тереңірек енгізу үшін жеткілікті. Осыдан кейін ұңғыма бірқалыпты пайдалануға беріледі. Айта кету керек, ұңғымаларды іске қосқаннан кейін саңылаулардағы кез келген қалдықтарды, соның ішінде сазды-құмды бөлшектер мен бұрғылау ерітіндісінің қалдықтарын тазалауда термохимиялық реакция нәтижесінде бөлінген газ және тазарту ерітіндісін қабатқа терең енгізу басты рөл атқарады. Ұңғымалардың түп аймағындағы кеуектердегі ауыр мұнай компоненттерінің балқыған қалдықтары кеуекті кеңістікте ілулі күйінде қалады. Бұл жағдайда қабаттан жоғары қысыммен ұңғымаға қайтып келетін газ өзінің жоғары жылдамдығының арқасында, өз жолын кез келген кедергілерден, соның ішінде осы ілмелі қалдықтардан тез тазартады. Бұл ұңғыдан мұнай өндіруді ұлғайта отырып, ұңғы түбінің қабат аймағының өткізгіштігінің одан әрі артуына ықпал етеді.

Қорытынды:

- тұтқырлығы жоғары мұнай кен орындарында жұмыс істейтін өндіру ұңғымаларының түптік аймағын термохимиялық өңдеу үшін жаңа құрам әзірленді;

- тұтқырлығы жоғары мұнай кен орындарында өндіру ұңғымаларының түптік аймағын термохимиялық өңдеу әдісі ұсынылды;

- ұсынылған әдісті қолдана отырып, ұңғыма түбі аймағының өткізгіштігін толық қалпына келтіруге қол жеткізуге болады;

- әртүрлі кен орындарындағы мұнайлардың физикалық және химиялық қасиеттерін ескере отырып, композициялық құрамдастардың кең диапазондағы өзгеруі эксперименталды түрде мүмкін болады;

- ұсынылған әдісте қолданылатын композицияның жоғары тежеу қасиетіне ие;

Әдебиеттер

1. Аглиуллин М.М. Способ термохимической обработки призабойной зоны нефтяных скважин. Патент RU 2320862C2, 2017-10-27, 2018-03-27

2. Александров Е.Н., Щербина К.Г., Дараган Е.В., Доманов Г.П., Мовшович Э.Б. Способ термохимической обработки продуктивного пласта и горюче-окислительный состав для его осуществления. Патент RU2153065C1, 2009-08-27, 2010-07-20.

3. Edward D. McCabe A way to increase the production of hydrocarbon wells by treating them with hot acid solutions - US Patent No.3367417, 2018, cl.166-40.

4. John L. Gidley. Method of acid treatment of siliceous formations. - US patent №.3548945, 2014, cl.166-307.

5. Ибрагимов Г.З., Сорокин В.А. Кислотные обработки с использованием поверхностно-активных веществ.- А.С. СССР № 828047, 2016, кл. E21B 43/27.

6. Игнатов А.Н., Кореняко А.В., Здобнова О.Л., Сергеев В.В. Инструкция по обработке карбонатных пластов кислотными составами с одновременным ограничением водопритоков ИОС. ЗАО НПФ Бурсинтез-М.2014. -35 с.

7. Хабибуллин Р.А., Краченко О.В., Велигоцкий Д.А. «Комплексное воздействие на пласт основа перспективных технологий нефтегазодобычи»//Деловой журнал Neftegaz.RU.- № 3. -2015, с.24-27.

8. Кнунянц И.Л. «Химическая энциклопедия». Из-во Советская энциклопедия, Москва т.2, 1990.- 673 с. ISBN 5-85270-035-5

9. Когарко СМ.,Маргулов Р.Д., ГарушевА.Р., и др. «Способ обработки нефтегазовой скважины». - авторское свидетельство СССР № 991034, 2015, кл. E21B 43/27.

10. Мирзаджанзаде А.Х., Кузнецов О.Л., Басниев К.С, Алиев З.С. Основы технологии добычи газа. - М.: ОАО Издательство «Недра», 2003. - 879 с. ISBN 5-247-03885-1

11. Мустафин Г.Г., Максутов Р.А., Ткаченко И.А., Булгаков Р.Т. «Способ обработки призабойной зоны скважин». - авторское свидетельство СССР № 783464, 2015, кл. E21B 43/27.

12. Салаватов Т.С., Абдуллаев М.Г., Гараев Р.Г., Хамитов Н.М., Джаманбаев С.Е. Способ повышения продуктивности скважин за счет термохимической обработки призабойной зоны// Научное обозрение.-2016.- № 9. - С.61-69

13. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: учебник, Издательство:Нефть и газ, 2008.- 826 с. ISBN:5-7246-0404-3

14. Сулейманов А.Б., Мамедов К.К., Нисанова Т.М. и др. «Способ термокислотной обработки призабойной зоны пласта». - авторское свидетельство № 1668645, кл.1991, E21B 43/27.

15. Александров Е.Н. Способ термохимической обработки призабойной зоны пласта. Патент RU №2126084C1, E21B43/24 E21B43/25, 02.10.1999

16. Дараган Е.В. Способ термохимической обработки продуктивного пласта и горюче-окислительная смесь (ГОС) для ее осуществления». Патент № US6488086B1, E21B43/243, 03.12.2002.

17. Александров Е.Н. Способ термохимической обработки призабойной зоны пласта. Патент РФ № 2070283, E 21B43/24, 10.02.1999.

18. Рамазанов Р.Г. Способ разработки залежи высоковязкой и тяжелой нефти с термическим воздействием. Патент РФ № 2526047, E21B43/24, 20.08.2014

References

1. Agliullin M.M. Sposob termohimicheskoj obrabotki prizabojnoj zony neftjanyh skvazhin. Patent RU 2320862C2, 2017-10-27, 2018-03-27. [in Russian]

2. Aleksandrov E.N., Shherbina K.G., Daragan E.V., Domanov G.P., Movshovich Je.B. Sposob termohimicheskoj obrabotki produktivnogo plasta i gorjuche-okislitel' nyj sostav dlja ego osushhestvlenija. Patent RU2153065C1, 2009-08-27, 2010-07-20. [in Russian]

3. Edward D. McCabe A way to increase the production of hydrocarbon wells by treating them with hot acid solutions - US Patent No.3367417, 2018, cl.166-40.

4. John L. Gidley. Method of acid treatment of siliceous formations. - US patent №.3548945, 2014, cl.166-307.

5. Ibragimov G.Z., Sorokin V.A. Kislotnye obrabotki s ispol' zovaniem poverhnostno-aktivnyh veshhestv.- A.S. SSSR № 828047, 2016, kl. E21V 43/27.

6. Ignatov A.N., Korenjako A.V., Zdobnova O.L., Sergeev V.V. Instrukcija po obrabotke karbonatnyh plastov kislotnymi sostavami s odnovremennym ogranicheniem vodopritokov IOS. ZAO NPF Bursintez-M.2014. -35 s. [in Russian]

7. Habibullin R.A., Krachenko O.V., Veligockij D.A. «Kompleksnoe vozdejstvie na plast osnova perspektivnyh tehnologij neftegazodobychi»//Delovoj zhurnal Neftegaz.RU.- № 3. -2015, s.24-27. [in Russian]

8. Knunjanc I.L. «Himicheskaja jenciklopedija». Iz-vo Sovetskaja jenciklopedija, Moskva t.2, 1990.- 673 s. ISBN 5-85270-035-5. [in Russian]

9. Kogarko SM.,Margulov R.D., GarushevA.R., i dr. «Sposob obrabotki neftegazovoj skvazhiny». - avtorskoe svidetel' stvo SSSR № 991034, 2015, kl. E21V 43/27. [in Russian]

10. Mirzadzhanzade A.H., Kuznecov O.L., Basniev K.S, Aliev Z.S. Osnovy tehnologii dobychi gaza. - M.: OAO Izdatel'stvo «Nedra», 2003. - 879 s. ISBN 5-247-03885-1. [in Russian]

11. Mustafin G.G., Maksutov R.A., Tkachenko I.A., Bulgakov R.T.«Sposob obrabotki prizabojnoj zony skvazhin». - avtorskoe svidetel'stvo SSSR № 783464, 2015, kl. E21V 43/27. [in Russian]

12. Salavatov T.S., Abdullaev M.G., Garaev R.G., Hamitov N.M., Dzhamanbaev C.E. Sposob povyshenija produktivnosti skvazhin za schet termohimicheskoj obrabotki prizabojnoj zony// Nauchnoe obozrenie.- 2016.- № 9.- S.61-69. [in Russian]

13. Mishhenko I.T. Skvazhinnaja dobycha nefti: uchebnik, Izdatel' stvo:Neft' i gaz, 2008.- 826 s. ISBN:5-7246-0404-3. [in Russian]

14. Sulejmanov A.B., Mamedov K.K., Nisanova T.M. i dr. «Sposob termokislotnoj obrabotki prizabojnoj zony plasta». - avtorskoe svidetel' stvo № 1668645, kl.1991, E21V 43/27. [in Russian]

15. Aleksandrov E.N. Sposob termohimicheskoj obrabotki prizabojnoj zony plasta. Patent RU №2126084C1, E21B43/24 E21B43/25, 02.10.1999. [in Russian]

16. Daragan E.V. Sposob termohimicheskoj obrabotki produktivnogo plasta i gorjuche-okislitel' naja smes' (GOS) dlja ee osushhestvlenija». Patent № US6488086B1, E21B43/243, 03.12. 2002. [in Russian]

17. Aleksandrov E.N. Sposob termohimicheskoj obrabotki prizabojnoj zony plasta. Patent RF № 2070283, E 21V43/24, 10.02.1999. [in Russian]

18. Ramazanov R.G. Sposob razrabotki zalezhi vysokovjazkoj i tjazheloj nefti s termicheskim vozdejstviem. Patent RF № 2526047, E21V43/24, 20.08.2014. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Калменов М.У. - докторант, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail:

mkalmen81@mail.ru;

Абдуллаев М.Г. - техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Әзірбайжан Республикасының Мұнай және газ институты, Әзірбайжан, e-mail: malik.abdullayev.1952@gmail.com;

Байботаева С.Е. – PhD докторы, доцент, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: sbaibotaeva@mail.ru;

Садырбаева А.С. - техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан, e-mail: a.sadyrbaeva@mail.ru

Information about the authors

Kalmenov M. U.- doctoral student, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: mkalmen81@mail.ru;

Abdullayev M. G.-Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Institute of oil and gas of the Republic of Azerbaijan, Azerbaijan, e-mail: malik.abdullayev.1952@gmail.com;

Baibotaeyva S.Ye. - PhD, associate professor, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: sbaibotaeva@mail.ru;

Sadyrbayeva A.S. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department. M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: a.sadyrbaeva@mail.ru

МРНТИ 52.47.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-847**

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ БУРЕНИЯ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН

[1]Ж.К. Надирова✉, [1]В.П. Бондаренко, [1]К.С. Надиров, [2]А.Е. Верисокин, [1]М.К. Жантасов
[1]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
[2]Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия
✉*Корреспондент-автор: zhanna.nadirova@inbox.ru*

В статье рассматриваются методы биологической диагностики буровых растворов на водной основе и их токсикологическая оценка. Авторами статьи были проведены экспериментальные исследования по определению фитотоксичности среды, загрязненной компонентами буровых растворов на водной основе. В работе исследовались буровые растворы на основе гудрона хлопкового модифицированного, которые предложено использовать при бурении нефтяных и газовых скважин. Показано, что на уровень токсичности бурового раствора оказывают влияние комбинированные реагенты: NaOH, Na_2CO_3, карбоксиметилцеллюлоза, и другие микрокомпоненты (измельченные алюминиевый шлак и лом, оксид алюминия, полимеры полиакриламид, полиакрилонитрил), входящие в его состав. В результате экспериментов установлено влияние процентного содержания комбинированных реагентов бурового раствора на морфологические признаки тест- культуры семян московской фасоли. Выбранная нами тест – культура позволяет относительно быстро провести биотест и получить достаточно точные и воспроизводимые результаты. В ходе эксперимента фиксировалось всхожесть, энергия прорастания, длина наземной корневой системы. Доказано, что метод проростков можно эффективно использовать как экспресс-диагностику для определения токсичности почв на месторождениях, загрязненных отходами процессов бурения (буровыми шламами и буровыми растворами).

Ключевые слова: экологическая безопасность, биотестирование, буровой раствор, отходы производства, тест-культура, морфологические признаки, угнетение роста, фитотоксичность.

МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ ҰҢҒЫМАЛАРДЫ БҰРҒЫЛАУ ҮШІН ҚОЛДАНЫЛАТЫН БҰРҒЫЛАУ ЕРІТІНДІЛЕРІНІҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ ДИАГНОСТИКАСЫ

[1]Ж.К. Надирова✉, [1]В.П. Бондаренко, [1]К.С. Надиров, [2]А.Е. Верисокин, [1]М.К. Жантасов
[1]М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
[2]Солтүстік Кавказ федералды университеті, Ставрополь, Ресей,
e-mail: zhanna.nadirova@inbox.ru

Бұл мақалада су негізіндегі бұрғылау ерітінділердің биологиялық диагностикалау әдістері және олардың токсикологиялық бағалау қарастырылады. Авторлары су негізіндегі бұрғылау ерітінділерінің компоненттерімен ластанған ортаның фитоуыттылығын анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізді. Жұмыста мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылау кезінде қолдануға ұсынылатын мақта модификацияланған гудрон негізіндегі бұрғылау ерітінділері зерттелді. Бұрғылау ерітіндісінің уыттылық деңгейіне аралас реагенттер әсер ететіні көрсетілген: NaOH, Na_2CO_3, карбоксиметилцеллюлоза және оның құрамына кіретін басқа микрокомпоненттер (ұсақталған алюминий шлактары мен сынықтары, алюминий оксиді, полимерлер полиакриламид, полиакрилонитрил). Эксперименттер нәтижесінде бұрғылау ерітіндісінің аралас реагенттерінің пайыздық мөлшерінің мәскеу бұршақ тұқымдарының сынақ дақылының морфологиялық белгілеріне әсері анықталды. Авторлармен таңдалған сынақ дақылдары биотестті салыстырмалы түрде жылдам жүргізуге және жеткілікті нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді. Тәжірибе барысында өнгіштік, өну энергиясы, жердегі тамыр жүйесінің ұзындығы тіркелді. Көшет әдісін бұрғылау процестерінің қалдықтарымен (бұрғылау шламдары мен бұрғылау ерітінділері) ластанған кен орындарындағы топырақтың уыттылығын анықтау үшін жедел диагностика ретінде тиімді қолдануға болатындығы дәлелденді.

Түйін сөздер: экологиялық қауіпсіздік, биотестілеу, бұрғылау ерітіндісі, өндіріс қалдықтары, сынақ-дақылдары, морфологиялық белгілері, өсудің тежелуі, фитоуыттылық.

BIOLOGICAL DIAGNOSTICS OF DRILLING FLUIDS USED FOR DRILLING OIL AND GAS WELLS

[1]Zh.K. Nadirova✉, [1]V.P. Bondarenko, [1]K.S. Nadirov, [2]A.E. Verisokin, [1]M.K. Zhantasov

[1]M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,
[2]The North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia,
e-mail: zhanna.nadirova@inbox.ru

The article discusses methods of biological diagnostics of water-based drilling fluids and their toxicological assessment. The authors of the article conducted experimental studies to determine the phytotoxicity of an environment contaminated with components of water-based drilling fluids. The paper investigated drilling fluids based on modified cotton tar (HCM), which are proposed to be used in drilling oil and gas wells. It is shown that the combined reagents NaOH, Na2CO3, carboxymethylcellulose (CMC), and other micro-components (crushed aluminum slag and scrap, aluminum oxide, polyacrylamide polymers, polyacrylonitrile) that make up its composition influence the toxicity level of drilling mud. As a result of the experiments, the influence of the percentage of combined drilling mud reagents on the morphological characteristics of the test culture of Moscow bean seeds was established. The test culture we have chosen allows us to conduct a biotest relatively quickly and obtain fairly accurate and reproducible results. During the experiment, germination, germination energy, and the length of the terrestrial root system were recorded. It has been proven that the seedling method can be effectively used as an express diagnostic for determining the toxicity of soils in fields contaminated with drilling process waste (drilling mud and drilling fluids).

Key words: environmental safety, biotesting, drilling mud, production waste, test culture, morphological signs, growth inhibition, phytotoxicity.

Введение. Высокий и все более нарастающий рост добычи и переработки нефти в мире приводят к тому, что уровень загрязнения окружающей среды нефтепродуктами и отходами добычи нефти в настоящее время приобретает глобальный характер. Не исключением являются нефтяные и газовые месторождения Республики Казахстан.

Анализ, проведенный авторами в работе [1] по отходам бурения нефтяных скважин свидетельствует об усилении их загрязненности органическими соединениями. Это связано с широким применением для обработки буровых растворов полимерных химических реагентов, стабилизаторов и понизителей водоотдачи.

Буровые растворы, применяемые для бурения нефтяных и газовых скважин, представляют собой сложные полидисперсные композиции (суспензии, эмульсии) переменного состава. Их базовые составы обычно включают морскую (речную) и пресную воду (около 80%), барит (3-15%), бентонит (2-7%), лигносульфонат (0,5-1 %), карбоксиметилцеллюлозу (КМЦ), полимеры и другие микрокомпоненты (менее 1-2%) Широкое распространение в практике бурения скважин получили буровые растворы на углеводородной основе в связи с уникальными физико-химическими свойствами и высокой эффективностью. Однако широкому внедрению в практику бурения этих растворов препятствуют экологические проблемы, вызванные их применением [2].

Жидкой основой буровых растворов (до 75-80%) служит либо вода, либо нефтяные углеводороды (сырая нефть, дизельное топливо), либо синтетические продукты. Именно этим, прежде всего, определяется степень фитотоксичности буровых растворов при их контакте с живыми организмами. Наибольшее и повсеместное распространение в современной практике бурения получили буровые растворы на водной основе.

В настоящее время к буровым растворам предъявляются следующие требования: они должны выполнять свои функции в различных условиях бурения скважин (температура, давление), стабильно функционировать при бурении различных скважин (вертикальных, горизонтальных, структурно-направленных) и при этом не причинять вреда окружающей среде.

На основании научно-методических принципов, выявленных в результате проведения комплексных исследований, в лаборатории буровых и тампонажных растворов ЮКУ им. М. Ауэзова разработана технология получения химических реагентов с заданными химическими свойствами на основе местного сырья (каустической и кальцинированной соды, бентопорошка из глин Дарбазинского месторождения, поверхностно-активных веществ) и отходов производства (гудрона хлопкового масла и отходов алюминиевой промышленности) [3]. В таблице 1 представлены базовые компоненты для получения буровых растворов, участвующих в тестировании.

Таблица 1 - Базовые компоненты для получения буровых растворов

Компонент	Сертификация
Гудрон хлопковый (госсиполовая смола)	ОСТ-18-114-73
Каустическая сода	ГОСТ 2263-79
Кальцинированная сода	ГОСТ5100-85
Алюминиевый лом	протестирован в лаборатории ИРЛИП ЮКУ им. М. Ауэзова
Шлам из отходов алюминиевой промышленности	протестирован в лаборатории ИРЛИП ЮКУ им. М. Ауэзова
Оксид алюминия	протестирован в лаборатории ИРЛИП ЮКУ им. М. Ауэзова
Na-карбоксиметилцеллюлоза	ТУ2231-002-05277563-2000
Полиакрилонитрил	протестирован в лаборатории ИРЛИП ЮКУ им. М. Ауэзова
Полиакриламид (ПАА)	протестирован в лаборатории ИРЛИП ЮКУ им. М. Ауэзова

Результаты исследований, опубликованные нами ранее в работе [4] свидетельствуют о том, что все исследованные типы буровых растворов на основе гудрона хлопкового модифицированного (ГХМ) практически не обладают выраженной острой токсичностью. Величины их по результатам «дафниевого теста» определяют среднюю летальную концентрацию токсиканта с кратностью разбавления тестируемой среды (LC50), при которой за 96 часов гибнет 50 % дафний. LC50 (за 96 ч) лежат в пределах 104-106мг/кг (разбавление 1-100%).

Материалы и методы. В модельных экспериментах исследовали малоглинистые буровые растворы на водной основе, компонентный состав которых приведен в таблице 2.

Буровые растворы готовили роспуском бентонитовой глины в дистиллированной воде, после чего в раствор добавляли требуемое количество реагентов. Образцы растворов на основе ГХМ представлены на рисунке 1.

Применение ГХМ обосновано тем, что в его состав входит госсипол, который является антимикробным препаратом, обладает широким спектром действия и высокой активностью, при низких концентрациях не вызывает коррозии, является безопасным для человека и окружающей среды, не оказывает отрицательного влияния на технологические свойства бурового раствора, имеет доступную сырьевую базу и низкую стоимость [4,5]. Оценку токсичности рецептур буровых растворов проводили по методикам [6].

Таблица 2 - Состав исследуемых буровых растворов

Буровые растворы	Госсипо-ловая смола, г	NaOH, г/мл	Na_2CO_3, г	КМЦ,г	Добавки,г	Бентонит 5%+H_2O
№1	65,24	13,04	13,04	8	Измельченный алюминиевый шлак 0,64	Остальное
№2	65,24	13,04	13,04	8	Измельченный алюминиевым лом 0,56	Остальное
№3	65,24	13,04	13,04	8	Окись алюминия 0,64	Остальное
№4	100	/300 10%	-	-	Полиакриламид	Остальное
№5	65,24	/300 10%	-	-	Полиакрилонитрил	Остальное

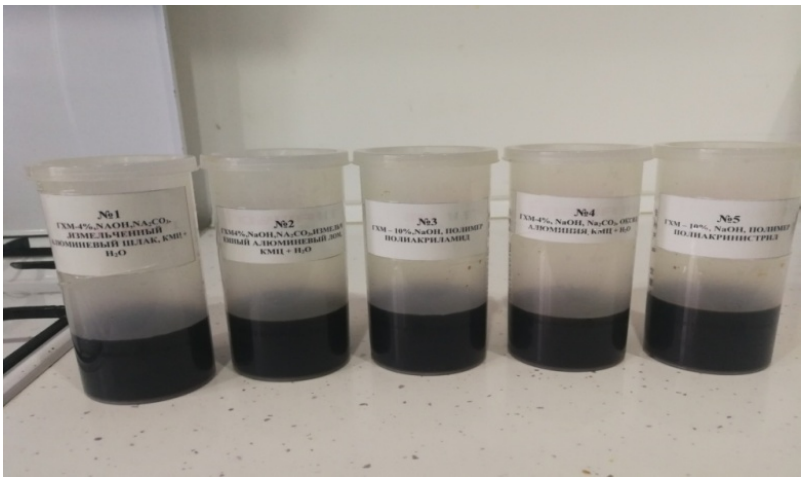


Рис.1 - Образцы растворов на основе модифицированного хлопкового гудрона

Токсичность буровых растворов оценивали с помощью приемов фитотестирования, непосредственно после залива тест-культуры буровым раствором [7,8]. Метод фиотестирования основан на влиянии буровых растворов на скорость прорастания тест - культур. В качестве тест - культуры были выбраны семена фасоли сорта ”Московская”. Семена фасоли высеивали в вегетативные сосуды, заполненные вермикулитом. В каждый сосуд высеивалось по пять семян. В качестве земельного покрова использовали вермикулит. Применение вермикулита обосновано его способностью обеспечивать равномерную аэрацию семян, а также противостоять процессам гниения и разложения микроорганизмов. В ходе эксперимента фиксировались всхожесть, энергия прорастания, длина наземной корневой системы [9-11].

Для обеспечения чистоты эксперимента все горшочки с семенами фасоли находились в одинаковых условиях (количество света, тепла и т.д.). Опыты проводили на световых стелажах при поддержании постоянной влажности воздуха 40-45%, при температуре 23-25^o С. Семена фасоли заливали буровыми растворами и в течение 14 дней велись наблюдения за проростками по следующим показателям: длина стебля; ширина стебля; общая длина; длина листьев; ширина листьев; количество проросших стеблей; количество листьев; вес общий; вес измеряемого стебля.

Для объективности анализа буровые растворы заливали в четыре емкости и определяли среднее значения проростков тест-культур.

Сравнение параметров проводили с образцом, залитым отстоянной водой. После прорости всех семян, была проведена разгерметизация и измерение проросших семян по параметрам указанным выше.

Результаты и обсуждение. В результате проведенного фитотестирования были получены следующие морфометрические данные, представленные в таблице 3 и на рисунке 2. Разницу показателей до 10% по сравнению с контрольным раствором из отстоянной воды не принимали во внимание и раствор считали экологически чистым, разница в 10–30% указывала на слабую токсичность, от 30 до 50% - на среднюю степень, а выше 50% – на высокую степень фитотоксичности раствора. Растворы №4 и №5 способствовали проявлению среднего уровня токсичности, это скорее всего связано с метаболическими процессами под влиянием поверхностно-активных веществ (полиакриламида и полиакрилонитрила). Статистическая обработка данных, представленных в таблице 3, показывает положительное действие растворов, содержащих полиакриламид и полиакрилонитрил на метрические показатели проростков семян фасоли при сравнении с контрольным вариантами раствора.

Наибольшее угнетение роста тест-культуры наблюдалось в образцах с буровыми растворами № 1, 2, 3.



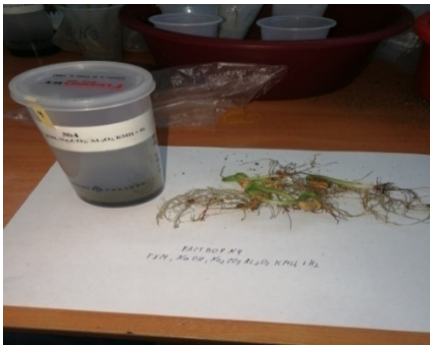
Образец, проросший на отстоянной воде



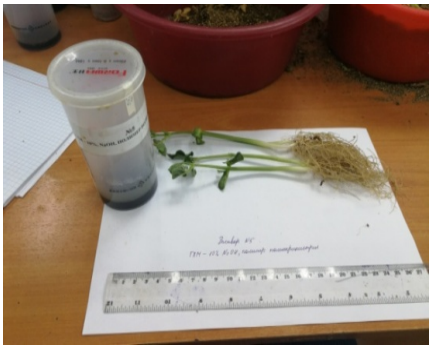
Образец, проросший на растворе №1



Образец, проросший на растворе №2



Образец, проросший на растворе №3



Образец, проросший на растворе №4



Образец, проросший на растворе №5

Рис.2 - Результаты фитототестирования буровых растворов

Результаты фитотестирования не выявили острого токсического действия на рост тест-культуру. Для наглядности представления результатов исследования была построена гистограмма, приведенная на рисунке 3.

Далее нами было определено влияние pH буровых растворов на развитие роста фасоли. Изменение длины проростков в зависимости от pH приведено на рисунке 4.

Как показывают данные рисунка состояние

проростков оказывается лучшим в варианте с pH=11,34 и 11,95.

роста фасоли. Изменение длины проростков в зависимости от pH приведено на рисунке 4.

Как показывают данные рисунка состояние проростков оказывается лучшим в варианте с pH=11,34 и 11,95.

Таблица 3 - Результаты морфометрического эксперимента

Параметры	Контроль на водной основе	Раствор №1	Раствор №2	Раствор №3	Раствор №4	Раствор №5
Длина стебля, см	14,3	8,4	8,6	5,4	11,6	12,1
Длина корня, см	15,2	14,1	12,1	11	17,8	13,3
Общая длина, см	27,3	20,1	20,7	15,9	27	25,5
Количество листьев, шт	2	3	2	-	3,2	2
Длина листьев, см	3,72	1,6	1,2	-	2,2	2,4
Ширина листьев, см	3,42	1,5	1,6	-	2,6	2,6
Количество стеблей, шт	5	4	2	3	4	4
Общий вес, г	13,8	9,8	6,1	8,1	10	11

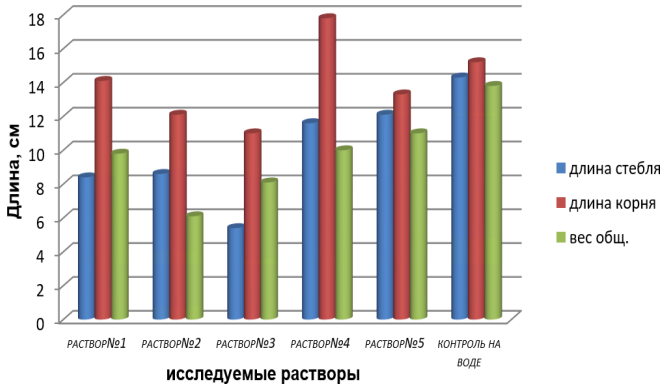


Рис.3 - Влияние буровых раствор на параметры роста тест-культуры

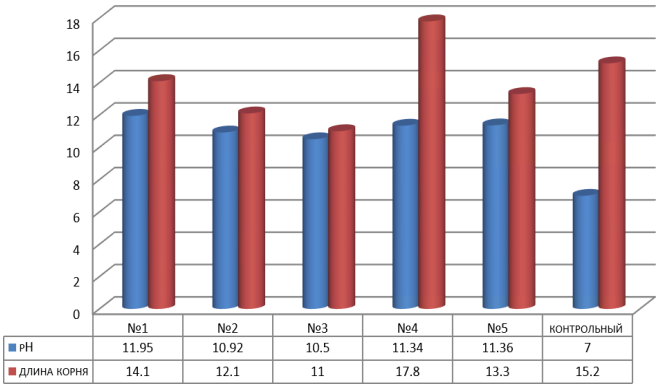


Рис.4 - Влияние pH раствора на длину корня фасоли

Выводы. Анализируя приведенные результаты исследований можно заключить, что все исследованные нами буровые растворы оказывают умеренное токсическое влияние на проростки тест - культур, за исключением раствора, содержащего окись алюминия, что доказывает необходимость сокращения его использования в буровых растворах в целях сохранения здоровой окружающей среды.

На основании анализа морфометрических исследований проростков фасоли мы получили результаты не всегда совпадающие с широко распространенным мнением, что нейтральная среда с pH=7,0 оказывает благоприятное влияние на длину проростков. В наших экспериментах состояние проростков оказывается лучшим в вари-

анте с pH=11,34 и 11,95 (растворы, содержащие полиакриламид и полиакрилонитрил).

Предложенная методика фитотестирования буровых растворов является незаменимым инструментом для решения экологических проблем в бурении нефтяных и газовых скважин.

Финансирование: *Данные исследования были выполнены при поддержке Комитета науки МНВО РК проекта AP26195345*.

Литература

1. Кудайкулова Г.А. Экологизация процесса промывки скважин//Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. -2010.- № 6. - С.22-32.

2. Нуцкова М.В., Рудяева Е.Ю. Обоснование и разработка технико-технологических решений для повышения эффективности бурения скважин в условиях поглощения промывочной жидкости // Недропользование .- 2018. -Т.17(2). - С.104 -114. DOI 10.15593/2224-9923/2018.2.1

3. Бондаренко В.П., Надиров К.С., Бимбетова Г.Ж. Использование модифицированного гудрона хлопкового масла для приготовления буровых растворов// Нефть и газ.-2016.- № 5 (96). - С.45-56.

4. A.R. Ismail, N.M. Mohd, N.F. Basir, J.O. Oseh, I. Ismail, S.O. Blkoor. Improvement of rheological and filtration characteristics of water-based drilling fluids using naturally derived henna leaf and hibiscus leaf extracts // J. Pet. Explor. Prod. Technol. - 2020. - Vol.10. -P.3541-3556. DOI 10.1007/s13202-020-01007-y

5. Bondarenko V.P., Golubev V.G., Zhantasov M.K., Sadyrbayeva A.S., Nadirova Zh.K., Ainabekov N.B. Investigation of anti-corrosion propertiesof environmentally safe additives to drilling solutions based on tar of cotton oil// Chimica Oggi - Chemistry Today- 2017.-Vol. 35(6).- P.31-35.

6. Другов Ю.С., Родин А.А. Мониторинг органических загрязнений природной среды: 500 методик: практ. руководство. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 893 с. ISBN 978-5-94774-761- 4.

7. Васильев А.В.1 , Заболотских В.В., Тупицына О.В., Штеренберг А.М. Экологический мониторинг токсического загрязнения почвы//Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело».- 2012.- № 4 - С.242-249.

8. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах: учебное пособие для высших учебных заведений. – СПб.: РГГМУ, 2019. - 140 с. ISBN 978-5-86813-491-3

9. Биотестирование. Биологические методы определения токсичности водной среды: метод. указания / Е.В. Рябухина, С.Л. Зарубин. Ярославль:ЯРГУ,2006. – 64 с.

10. Дмитриев А.И. Биоиндикация. Н. Новгород, 1996. - 33 с. ISBN 5-85152-046-9

11. Заболотских В.В., Васильев А.В., Танких С.Н. Экспресс-диагностика токсичности почв, загрязнённых нефтепродуктами. Известия Самарского научного центра Российской академии наук.- 2012.- Т.14 №1(3) - С.58-64.

Referenses

1. Kudajkulova G.A. Jekologizacija processa promyvki skvazhin//Vestnik Nacional’ noj akademii nauk Respubliki Kazahstan. -2010.- № 6. - S.22-32. [in Russian]

2. Nuckova M.V., Rudjaeva E.Ju. Obosnovanie i razrabotka tehniko-tehnologicheskih reshenij dlja povyshenija jeffektivnosti burenija skvazhin v uslovijah pogloshhenija promyvochnoj zhidkosti // Nedropol’ zovanie.- 2018.-T.17 (2). - C.104 - 114. [in Russian]

3. Bondarenko V.P., Nadirov K.S., Bimbetova G.Zh. Ispol’ zovanie modificirovannogo gudrona hlopkovogo masla dlja prigotovlenija burovyh rastvorov// Neft’ i gaz.-2016.- № 5 (96). - S.45-56. [in Russian]

4. A.R. Ismail, N.M. Mohd, N.F. Basir, J.O. Oseh, I. Ismail, S.O. Blkoor. Improvement of rheological and filtration characteristics of water-based drilling fluids using naturally derived henna leaf and hibiscus leaf extracts // J. Pet. Explor. Prod. Technol. - 2020. - Vol.10. -P.3541-3556. DOI 10.1007/s13202-020-01007-y

5. Bondarenko V.P., Golubev V.G., Zhantasov M.K., Sadyrbayeva A.S., Nadirova Zh.K., Ainabekov N.B. Investigation of anti-corrosion propertiesof environmentally safe additives to drilling solutions based on tar of cotton oil// Chimica Oggi - Chemistry Today- 2017.-Vol. 35(6).- P.31-35.

6. Drugov Ju.S., Rodin A.A. Monitoring organicheskih zagrjaznenij prirodnoj sredy: 500 metodik: prakt. rukovodstvo. M.: BINOM. Laboratorija znanij, 2009. - 893 s. ISBN 978-5-94774-761- 4. [in Russian]

7. Vasil’ ev A.V.1 , Zabolotskih V.V., Tupicyna O.V., Shterenberg A.M. Jekologicheskij monitoring toksicheskogo zagrjaznenija pochvy//Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo».- 2012.- № 4 - S.242-249. [in Russian]

8. Bioindikacija i biotestirovanie v presnovodnyh jekosistemah: uchebnoe posobie dlja vysshih uchebnyh zavedenij. - SPb.: RGGMU, 2019. - 140 s. ISBN 978-5-86813-491-3. [in Russian]

9. Biotestirovanie. Biologicheskie metody opredelenija toksichnosti vodnoj sredy: metod. ukazanija / E.V. Rjabuhina, S.L. Zarubin. Jaroslavl’:JaRGU,2006.- 64 s. http://www.lib.uniyar.ac.ru. [in Russian]

10. Dmitriev A.I. Bioindikacija. N. Novgorod, 1996. - 33 s. ISBN 5-85152-046-9. [in Russian]

11. Zabolotskih V.V., Vasil’ ev A.V., Tankih S.N. Jekspress-diagnostika toksichnosti pochv, zagrjaznjonnyh nefteproduktami. Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk.- 2012.- T.14 №1(3) - S.58-64. [in Russian]

Сведения об авторах

Надирова Ж.К. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, e-mail: zhanna.nadirova@inbox.ru;

Бондаренко В.П.-кандидат технических наук, доцент, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, e-mail: vbond2011@mail.ru;

Надиров К.С. - доктор технических наук, профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, e-mail: nadirovkazim@mail.ru;

Верисокин А.Е. - кандидат технических наук, доцент, Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, Ставрополь, verisokin.aleksandr@mail.ru;

Жантасов М.К. - кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: manapjan_80@mail.ru.

Information about the authors

Nadirova Zh.K. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, zhanna.nadirova@inbox.ru;

Bondarenko V.P. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, e-mail: vbond2011@mail.ru;

Nadirov K.S. - Doctor of Technical Sciences, Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, e-mail: nadirovkazim@mail.ru;

Verisokin A.E. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, North Caucasus Federal University, Russia, Stavropol, verisokin.aleksandr@mail.ru;

Zhantasov M.K. - Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department. M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, e-mail: manapjan_80@mail.ru.

МРНТИ 52.47.33 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1063**

АМИНҚЫШҚЫЛДАРЫН ГАЗ ГИДРАТТАРЫНЫҢ КЕН ОРЫНДАРЫ ҮШІН ИНГИБИТОРЛАР РЕТІНДЕ ЗЕРТТЕУ

[1]Д.Т. Бегалиев✉, [1]Н.М. Жумагалиева, [1]Р.И. Джусупкалиева, [2]Р.У. Баямирова, [1]А.Б. Кыдрашов✉, [1]Ж.Т. Ержанова, [3]Ш.Х. Султанов

[1]«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ Орал, Қазақстан,
[2]«Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технология және инжиниринг университеті» КеАҚ, Ақтау, Қазақстан,
[3]Уфа Мемлекеттік Мұнай Техникалық Университеті,Уфа, Ресей
✉*Корреспондент-автор: dastan.begaliyev@wkau.kz; a.kydrashov@mail.ru*

Газ гидратының түзілуі мен ыдырау процестерін түбегейлі түсіну көптеген энергетикалық және экологиялық салаларда өте маңызды және мұнай-газ саласы үшін ағынды қамтамасыз етуде ерекше маңызға ие. Бұл салалар газ гидраттарын қолданудың негізін құрайды, олар кеңінен зерттелгенімен, әлі де өсіп келе жатқан зерттеу салалары ретінде дамып келеді. Бұл зерттеу экологиялық таза аминқышқылдарының, атап айтқанда аланин, гистидин, фенилаланин және лизиннің метан-пропан газ гидраттарының түзілу кинетикасына әсерін зерттейді (96% метан және 4% пропан). Сонымен қатар, зерттеу әртүрлі ағын режимдерінің гидраттардың түзілу процесіне қалай әсер ететінін тексереді. Атап айтқанда, көлбеу жүзді турбиналар (жоғары ағын) (PBTU) және Раштон турбиналары (радиалды ағын) (RT) екі түрлі ағынды қамтамасыз етеді. Тәжірибе нәтижелері лизин мен аланиннің кинетикалық стимуляторлар ретінде әрекет ету арқылы гидраттардың өсуін тездететінін көрсетеді, ал гистидин мен фенилаланин керісінше гидраттардың түзілуін тежейтін (ингибиторлық әсер) әсерлерін көрсетеді. Онымен қоса, радиалды ағын жағдайында индукция уақытының қысқаруына және аралас ағынмен салыстырғанда гидраттардың газ бен сұйықтықтың өзара әрекеттесуінің жақсаруына байланысты түзілу жылдамдығының жоғарылауына ықпал ететіні анықталды.

Түйін сөздер: газ гидраттары, амин қышқылдары, аланин, фенилаланин, лизин, гистидин, метан мен пропан қоспасы, ингибитор, тежелу кинетикасы.

ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТ КАК ИНГИБИТОРОВ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

[1]Д.Т. Бегалиев✉, [1]Н.М. Жумагалиева, [1]Р.И. Джусупкалиева, [2]Р.У. Баямирова, [1]А.Б. Кыдрашов✉, [1]Ж.Т. Ержанова, [3]Ш.Х. Султанов

[1]НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Уральск, Казахстан,
[2]НАО «Каспийский университет технологии и инжиниринга им. Ш.Есенова», Актау, Казахстан,
[3]Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет, Уфа, Россия,
e-mail: dastan.begaliyev@wkau.kz; a.kydrashov@mail.ru

Понимание процессов образования и разложения газогидрата имеет важное значение в различных областях энергетики и экологии. Особую роль оно играет для нефтегазовой промышленности. Газовые гидраты являются ключевым элементом в этих областях и продолжают привлекать внимание как перспективные объекты исследований. В данном исследовании рассматривается влияние экологически безопасных аминокислот - аланина, гистидина, фенилаланина и лизина на процессы образования газогидратов метана и пропана (96% метана и 4% пропана). Кроме того исследование изучает влияние различных режимов потока на процесс образования гидратов. Особенно турбины с наклонным лезвием (восходящий поток) (PBTU) и турбины Раштона (радиальный поток) (RT), которые обеспечивают два различных потока. Результаты эксперимента показывают ускорение роста гидратов при использовании лизина и аланина как кинетических стимуляторов. Напротив, гистидин и фенилаланин демонстрируют ингибирующие эффекты на формирование гидратов. Также

отмечено, что радиальный поток способствует сокращению времени индукции и увеличению его продолжительности. скорость образования гидратов увеличивается из-за улучшения взаимодействия между газом и жидкостью по сравнению с потоком, содержащим оба компонента.

Ключевые слова: uазовые гидраты, аминокислоты, аланин, фенилаланин, лизин, гистидин, смесь метана и пропана, ингибитор, кинетика ингибирования.

EXAMINATION OF AMINO ACIDS AS INHIBITORS FOR GAS HYDRATE RESERVOIRS

[1]D.T. Begaliyev✉, [1]N.M. Zhumagaliyeva, [1]R.I. Jussupkaliyeva, [2]R.U. Bayamirova, [1]A.B. Kydrashov✉, [1]Zh.T. Yerzhanova, [3]Sh.Kh. Sultanov

[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]Ufa State Petroleum Technical University,Ufa, Russia,
e-mail: dastan.begaliyev@wkau.kz; a.kydrashov@mail.ru

Understanding how gas hydrates are formed and break down is crucial for many fields and especially necessary for flow assurance in oil and gas transportation. Because of these areas, gas hydrates are now developed for various uses, even though much research is still underway. This work explores how alanine, histidine, phenylalanine and lysine impact the formation of methane–propane (96% methane and 4% propane) gas hydrate. The study looks into how changes in flow regimes play a role in creating gas hydrates. The two kinds of turbines, pitched blade turbines (PBTU) and Rushton turbines (RT), offer different types of flow. The results of experiments demonstrate that lysine and alanine speed up hydrate development, as they help to promote the process, whereas histidine and phenylalanine have an opposite effect and retard hydrate growth. It was also revealed that with radial flow, hydrates are generated more rapidly since the contact between gases and liquids is greater compared to mixed flow.

Keywords: gas hydrates, amino acids, alanine, phenylalanine, lysine, histidine, methane-propane mixture, inhibitor, inhibition kinetics.

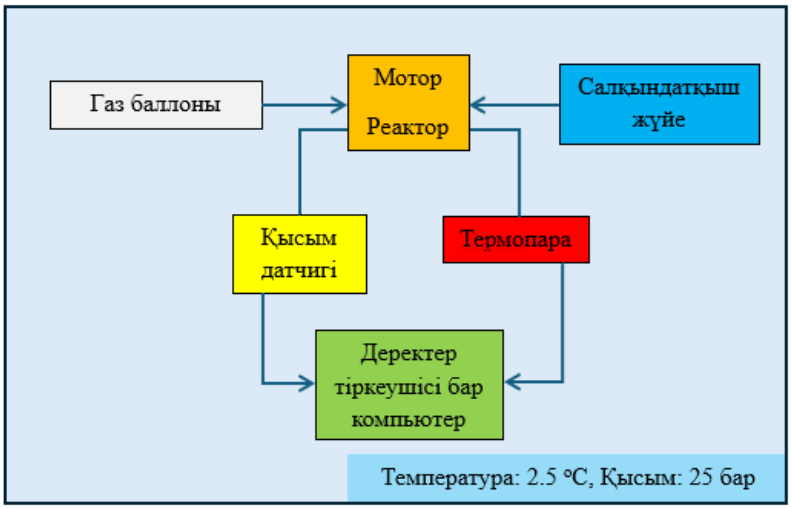
Кіріспе. Газ гидраттары-жоғары қысым мен төмен температура жағдайында газ бен судан түзілетін кристалды қосылыстар. Олардың құрылымы қонақ молекуласының мөлшеріне байланысты өзгереді, әдетте sI, sII немесе sH торларын құрайды [1-3]. Газ гидраттары энергияны сақтау және басқа да жаңа қосымшалар үшін перспективалы болғанымен, олар құбырларды бұғаттау қабілетіне байланысты мұнай-газ өнеркәсібі үшін үлкен проблемалар туғызады. Нәтижесінде гидраттардың пайда болуын болдырмау маңызды қызмет саласына айналды [4-7].

Әдетте жоғары концентрацияда гидраттардың түзілуін тежеу үшін спирттер, тұздар және гликольдер сияқты термодинамикалық гидратация ингибиторлары қолданылды. Жақында төмен концентрациядағы тиімділігіне байланысты төмен дозалы гидратация ингибиторлары (IGND), соның ішінде кинетикалық гидратация ингибиторлары (КИГ) және антиагломеранттар (АА) назар аудартты. КИГ арасында аминқышқылдары биологиялық ыдырау қабілетіне және қоршаған ортаға әсерінің төмендігіне байланысты көбірек қызығушылық тудырады [8-10].

Алдыңғы зерттеулер метан гидраты немесе көмірқышқыл газы жүйелеріндегі аминқышқылдарының рөлін зерттегенімен, олардың аралас метан-пропан жүйелеріндегі мінез-құлқы шектеулі зерттеулерде бағаланды. Бұл зерттеу төрт аминқышқылдарының - аланин, гистидин, фенилаланин және лизиннің – метан-пропан қоспасында гидраттардың түзілуіне турбиналардың екі түрін қолдана отырып кинетикалық әсерін зерттейді (96:4): көлбеу жүзді турбиналар (жоғары ағын) (PBTU) және Раштон турбиналары (радиалды ағын) (RT). Зерттеудің мақсаты-олардың ингибиторлық немесе ынталандырушы әсерін анықтау [10-14].

Материалдар мен әдістер. Ішкі көлемі 1.56

литр болатын үздіксіз араластырғыш реактор (CSTR) метан мен пропан гидраттарының түзілуін арттыру әлеуетін зерттеу үшін тапсырыс бойынша жасалған. Реакторды орнату схемасы 1 суретте көрсетілген.



1-сурет. Реакторды орнату схемасы

Гидратация эксперименттері метан (96%) және пропан (4%) газ қоспасын алдын ала жүктелген тазартылған суы бар реакторға айдау, белгілі бір жұмыс жағдайларын (t = 2.5 °C, P = 25 бар) сақтау және жұмыс дөңгелегінің айналуын бастау арқылы жүргізілді. Реактор мен дөңгелектің өлшемдері 1-кестеде келтірілген.

Газ қоспасы тат баспайтын болаттан жасалған қабылдау түтігі арқылы 0.4 литр тазартылған суы бар реакторға енгізілді. Бұл көлемде сұйықтықтың биіктігі реактордың ішкі диаметріне сәйкес келді (8 см). Бастапқыда тоңазытқыштағы температура 10 °C деңгейінде сақталды және газ берілгеннен кейін біртіндеп -5 °C дейін төмендеді, бұл реактордағы температураның белгіленген 2.5 °C-қа жетуіне мүмкіндік берді. Содан кейін араластыру болмаған кезде гидраттардың өздігінен пайда болуын болдырмау үшін суық бөлмедегі температура -5-тен 0 °C-қа дейін көтерілді.

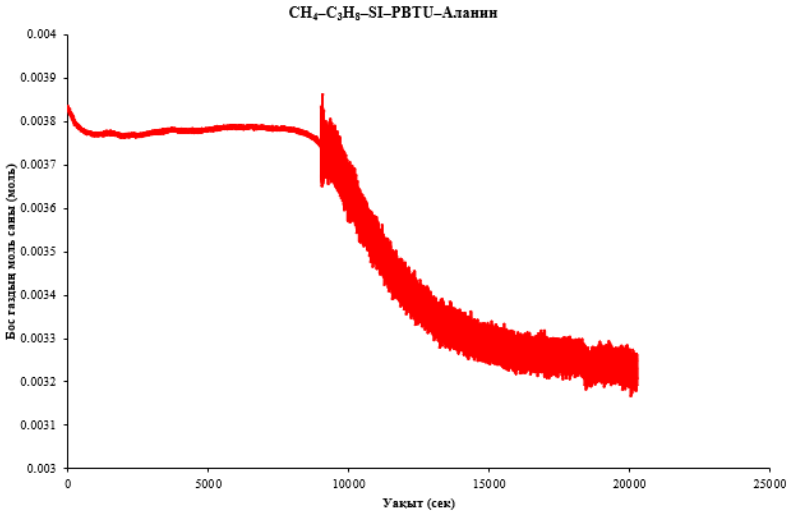
1 - кесте. Мөлдір реактордың бір жұмыс дөңгелегі эксперименттері кезінде араластырғыш элементтердің өлшемдері мен орналасуы

Таңба	Сипаттама	Ұзындығы (см)
T	Реактордың ішкі диаметрі	8.0
D	Дөңгелектің диаметрі	4.0
H	Мөлдір реактордың биіктігі	30.0
Hg	Дөңгелектің қалыңдығы	0.2
C	Дөңгелектің реактордың түбінен қашықтығы	5.0

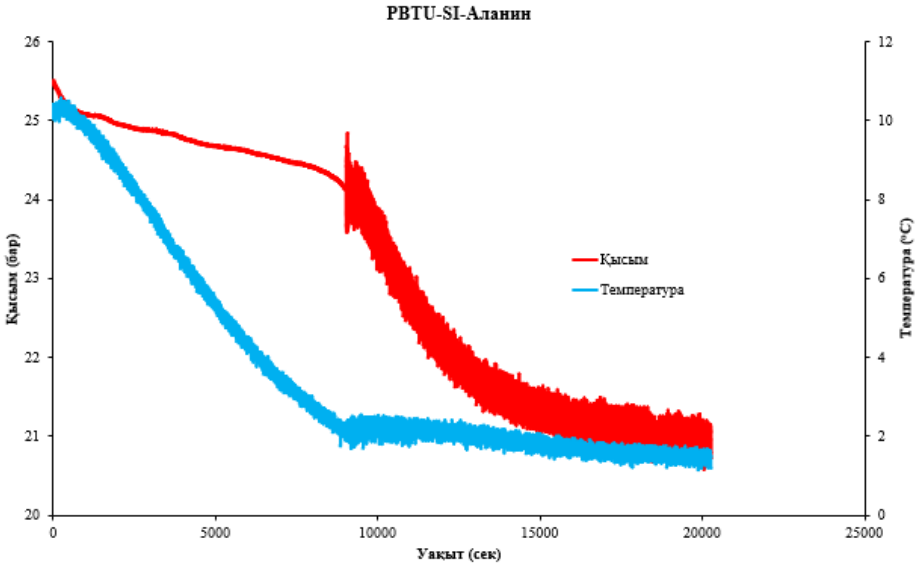
Әрбір эксперимент индукциядан кейін үш сағатқа созылды, бұл гидраттың бастапқы пайда болуын көрсетеді. Бұл сынақтардың мақсаты таңдалған аминқышқылдарының қатысуымен дөңгелектердің әртүрлі түрлері мен бөлімдердің орналасуы гидратация кинетикасына қалай

әсер ететінін талдау болды. Қолданылған турбиналардың арасында Раштон турбинасы (радиалды ағын) және жоғары конфигурациядағы көлбеу жүзді турбина (аралас ағын) (PBTU) болды.

Гидратация түзілу кинетикасын бағалау үшін қысым мен температура деректерін кинетикалық профильдерге түрлендіру үшін деректерді өңдеу әдісі қолданылды. Нақты газдың күй теңдеуін $PV = znRT$ қолдана отырып, уақыт өте келе реактордағы реакцияға түспеген газдың молярлық мөлшері анықталды. Газдың сығылу коэффициенті (Z) fortran бағдарламасымен жүзеге асырылған Ли–Кеслер әдісі (1975) арқылы есептелді. CH_4–C_3H_8–SI–PBTU–Аланин жүйесі үшін уақыт бойынша газды тұтынудың тән мысалы 2 суретте көрсетілген.3 суретте дәл сол жүйе үшін қысым мен температураның өзгеруін көрсететін жүйе ұсынылған.



2 - сурет. T = 2.5 °C және P = 25 барда айналуды бастау үшін CH_4-C_3H_8-SI-PBTU-аланин экспериментіндегі бос газ мольдерінің санының өзгеруі



3 - сурет. T = 2.5 °C және P = 25 барда айналуды бастау үшін CH_4-C_3H_8-SI-PBTU-аланин экспериментіндегі қысым мен температураның өзгеруі

4 суретте тек гидраттың өсу фазасы көрсетілген және бос газ мольдерінің азаюын сипаттау үшін үшінші ретті көпмүше таңдалды:

$$n = -7.01 \times 10^{-16}t^3 + 1.94 \times 10^{-11}t^2 - 1.79 \times 10^{-7}t + 3.80 \times 10^{-3} \quad (1)$$

мұндағы n-бос газдың моль саны (моль), ал t-уақыт (сек).

Бұл теңдеудің дифференциациясы гидраттың түзілу жылдамдығын береді:

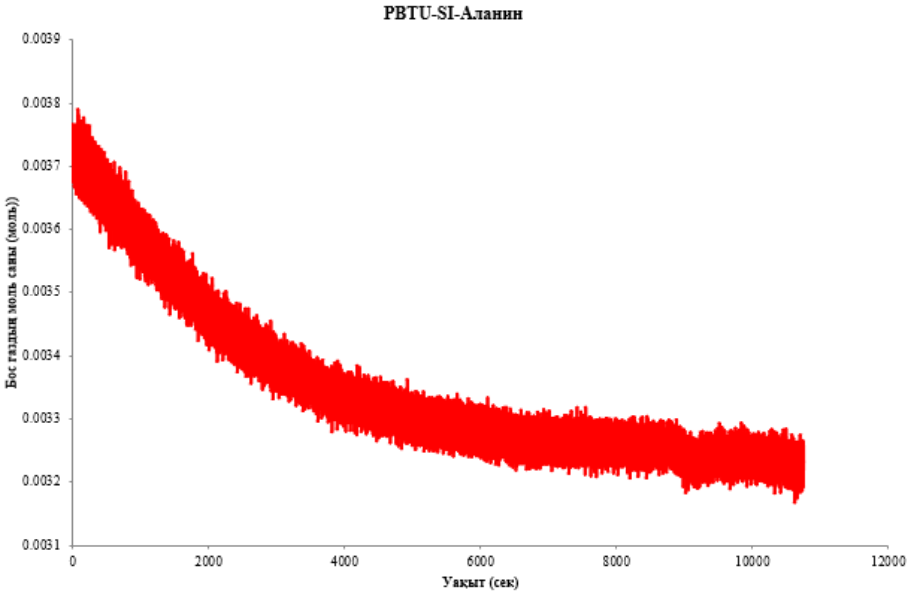
$$\frac{dn}{dt} = -3 \times 7.01 \times 10^{-16}t^2 + 2 \times 1.94 \times 10^{-11}t - 1.79 \times 10^{-7} \quad (2)$$

мұндағы, dn/dt – газ шығыны (моль/сек), t-уақыт (сек).

Белгілі бір уақыт аралығында (1, 500, 1000 және 1500 секунд) газ ағынының жылдамдығы есептеліп, CH_4-C_3H_8-SI-PBTU-Аланинмен жасалған тәжірибе нәтижелері 2 кестеде көрсетілді.

2 - кесте. CH_4-C_3H_8-SI-PBTU-Аланин үшін газ ағынының жылдамдығы

Уақыт (сек)	1	500	1000	1500
Газ шығыны (моль/сек)	-1.78×10-7	-1.59×10-7	-1.40×10-7	-1.22×10-7

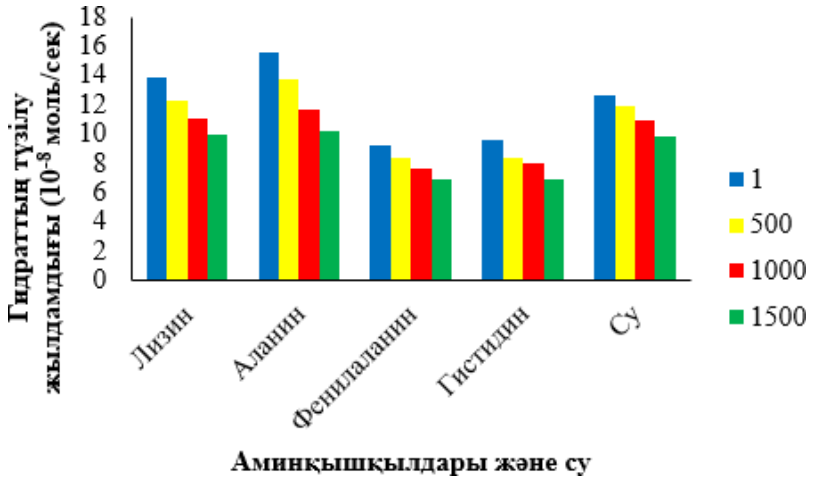


4 - сурет. Аланин үшін гидраттың өсу фазасы: T = 2.5 °C және P = 25 бар

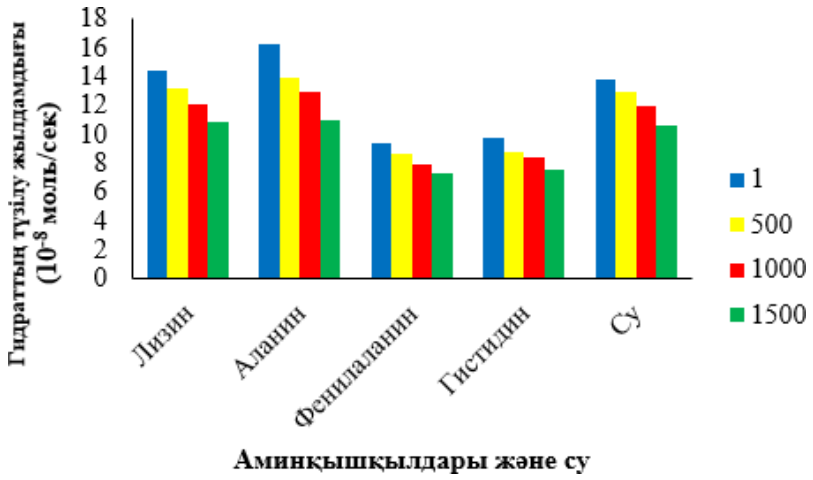
Нәтижелер мен талқылау. Гидрат алғаш түзіліп басталғаннан кейін таңдалған төрт уақыт нүктесінде гидраттың түзілу жылдамдығын бағалау үшін бос газ мольдерінің азаюы бақыланды - 1 сек, 500 сек, 1000 сек және 1500 сек.5, 6-суреттерде турбиналардың екі түрі үшін осы жылдамдықтар көрсетілген. Осы сыналған жүйелердің ішінде лизиннің қосылуы сәйкесінше PBTU және RT үшін 13.9 × 10^{-8} моль/сек және 14.4 × 10^{-8} моль/сек жететін жоғары гидратация жылдамдығына әкелді. Лизиннің тиімділігін оның ұзағырақ полярлы емес бүйірлік тіз-

бегі түсіндіруі мүмкін, ол метил топтарын гидрат құрылымына біріктіру арқылы гидрат торын тұрақтандыруы мүмкін [14-16].

Аланин, қарапайым құрылымы бар тағы бір полярлы емес амин қышқылы, гидраттардың түзілуін ынталандыруда лизиннен кейін тікелей жүреді. Оның жылдамдығы сәйкесінше PBTU және RT турбиналары үшін 15.6 × 10^{-8} моль/сек және 16.2 × 10^{-8} моль/сек болды. Бір қызығы, аланин біздің жүйеде гидраттардың түзілуіне ынталандырушы әсер көрсеткенімен, алдыңғы зерттеулер оның CO_2 гидраттары үшін ингибиторлық сипатын көрсетті [17].



5 - сурет. T = 2.5 °C және P = 25 бар жағдайында айналуды бастау үшін 1, 500, 1000 және 1500 секунд өткенде, таза су мен төрт түрлі аминқышқылдарының қатысуымен PBTU турбинасында жүретін гидратация жылдамдығы



6 - сурет. T = 2.5 °C және P = 25 бар жағдайында айналуды бастау үшін 1, 500, 1000 және 1500 секунд өткенде, таза су мен төрт түрлі аминқышқылдарының қатысуымен RT турбинасында жүретін гидратация жылдамдығы

Гистидин гидратацияның айтарлықтай төмен жылдамдығында айқын тежегіш әсерін көрсетті: PBTU және RT үшін сәйкесінше 9.54 × 10^{-8} моль/сек және 9.74 × 10^{-8} моль/сек болды. Зарядталған полярлы амин қышқылы ретінде гистидин гидрат кристалдарының бетімен Ван-дер-ваальс немесе электростатикалық күштер арқылы әрекеттесіп, кристалдардың пайда болуына

да, одан кейінгі өсуіне де кедергі келтіруі мүмкін. Бұл деректер CO_2 гидрат жүйелеріндегі гистидиннің белгілі тежегіш қасиеттеріне сәйкес келеді [18].

Фенилаланин барлық сыналған аминқышқылдарының ең төменгі көрсеткіштерін көрсетті: PBTU және RT үшін сәйкесінше 9.24×10^{-8} моль/сек және 9.36×10^{-8} моль/сек болды. Оның гидрофобты хош иісті бүйірлік тізбегі газ молекулаларының айналасындағы судың құрылымына кедергі келтіруі мүмкін, осылайша гидрат жасушаларының түзілуін бұзады [19,20].

Гидродинамикалық тұрғыдан алғанда, 5 және 6-суреттерді талдау радиалды ағындық жүйелер аралас ағындық жүйелерге қарағанда жоғары гидратация жылдамдығын қамтамасыз ететінін көрсетеді. Бұл газ бен сұйықтықтың өзара әрекеттесуінің жақсарғанын және радиалды ағын жағдайында масса тасымалына төзімділіктің төмендегенін көрсетеді, бұл араластыру тиімділігінің жоғарылауына әкеледі. Барлық эксперименттер осьтік ағынды күшейту және орталық құйынның пайда болуын тежеу үшін толығымен қорғалған реактор конфигурацияларын қолданды. Сонымен қатар, гидраттың пайда болуының басталуы жүйенің температурасының шамалы жоғарылауымен қатар жүретіні байқалды, бұл газ гидратының түзілу реакциясының экзотермиялық сипатымен түсіндіріледі.

Қорытынды. Осы зерттеу сыналған аминқышқылдарының ішінде лизин мен аланин тиімді кинетикалық стимуляторлар ретінде әрекет ете отырып, метан (96%) және пропан (4%) гидраттарының түзілу жылдамдығын айтарлықтай арттыратынын көрсетеді. Ал гистидин мен фенилаланин керісінше ингибиторлық әсерге ие, соның ішінде фенилаланин барлық ағын конфигурацияларында гидратацияның ең төмен жылдамдығына әкеледі. Ағынның түріне байланысты, радиалды ағындық жұмыс дөңгелегі жүйесі гидраттың түзілу жылдамдығы бойынша да, жеткізу уақытының қысқаруы бойынша да аралас ағындық жүйелерден асып түседі, бұл газ бен сұйықтықтың тамаша байланысын және жақсартылған араластыру динамикасын көрсетеді.

Аталмыш аминқышқылдар ішінде аланин ең тиімді стимулятор болып шықты, екі импеллерлік жүйеде де (PBTU және RT) ең жоғары түзілу көрсеткіштеріне қол жеткізді, ал фенилаланин бірдей жағдайларда ең төменгі көрсеткіштерді көрсетті. Бұл бақылаулар аминқышқылдарының бүйірлік тізбектерінің молекулалық құрылымы мен қасиеттері гидрат кинетикасын модуляциялауда маңызды рөл атқаратынын растайды.

Аминқышқылдарының пайдалану сипаттамаларынан басқа, әдеттегі термодинамикалық гидратация ингибиторларына (THIs) қарағанда бірқатар артықшылықтары бар. Олардың қоршаған ортаға төмен әсері және биологиялық ыдырау қабілеті оларды экожүйені сақтау маңызды қайраңда қолдануға қолайлы етеді. Сонымен қатар, ұшпайтын табиғатының арқасында аминқышқылдары қалпына келтіру процесінде шығындарға аз ұшырайды, бұл олардың ұзақ мерзімді тиімділігін арттырады.

Сонымен қатар, аминқышқылдарының құрылымдық ұқсастығы механикалық зерттеулер үшін құнды негіз береді. Функционалды топтарды өзгерту арқылы молекулалық деңгейде тежелу процесі туралы тереңірек түсінік алуға болады, бұл ылғалданумен күресудің тиімдірек және экологиялық таза стратегияларын жасауға мүмкіндік береді.

Алғыс. *Мен доктор Сотириос Лонгиносқа өзінің құнды басшылығы, қолдауы және зерттеу барысында пайдалы ұсыныстары үшін шын жүректен алғысымды білдіргім келеді.*

Әдебиеттер

1. Bhattacharjee G. and Linga P. Amino acids as kinetic promoters for gas hydrate applications: A mini review // Energy & Fuels. – 2021. – Vol.35(9). – P.7553-7571. DOI 10.1021/acs.energyfuels.1c00502.

2. Longinos S.N. and Parlaktuna M. Kinetic study of the effect of amino acids on methane (95%)—propane (5%) hydrate formation // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. – 2021. – Vol. 133(2). – P. 753-763. DOI 10.1007/s11144-021-02023-7.

3. Longinos S.N. and Parlaktuna M. Are the amino acids inhibitors or promoters on methane (95%)–propane (5%) hydrate formation? // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. – 2021. – Vol. 132(2). – P.795-809. DOI 10.1007/s11144-021-01959-0.

4. Roosta H., Dashti A., Mazloumi S.H. and Varaminian F. The dual effect of amino acids on the nucleation and growth rate of gas hydrate in ethane+ water, methane+ propane+ water and methane+ THF+ water systems // Fuel. – 2018. – Vol.212. – P.151-161. DOI 10.1016/j.fuel.2017.10.027.

5. Jiang Z., Yang C., Jiang W., Liu Z., Zhou L., Li F. and Zhang X. The Influence of Different Types of Amino Acids on the Formation Kinetics of Methane Hydrate // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2024. – Vol. 63(33). – P.14611-14621. DOI 10.1021/acs.iecr.4c01898.

6. Chaovarin C., Yodpetch V., Inkong K., Veluswamy H.P., Kulprathipanja S., Linga P. and Rangsunvigit P. Improvement of methane hydrate formation using biofriendly amino acids for natural gas storage applications: Kinetic and morphology insights // Energy & Fuels. – 2022. – Vol. 36(20). – P.12826-12841. DOI 10.1021/acs.energyfuels.2c02780.

7. Longinos S.N., Longinou D.D., Parlaktuna M. and Toktarbay Z. The impact of methionine, tryptophan and proline on methane (95%)–propane (5%) hydrate formation // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. - 2021.- Vol.134(2). - P.653-664. DOI 10.1007/s11144-021-02089-3.

8. Zhu J., Li X., Liu Z., Sun X., Zhao L., Shi Y., Zhou G., Rui Z. and Lu G. Effect of biofriendly amino acids on methane hydrate decomposition: Insights from molecular dynamics simulations // Fuel. - 2022. - Vol. 325.- P.124919. DOI 10.1016/j.fuel.2022.124919.

9. Englezos P, Kalogerakis N, Dholabhai P.D, Bishnoi P.R. Kinetics of formation of methane and ethane gas hydrates // Chem Eng Sci. - 1987. - Vol.42(11).- P.2647-2658. DOI 10.1016/0009-2509(87)87015-X.

10. Linga P, Daraboina N, Ripmeester J.A, Englezos P. Enhanced rate of gas hydrate formation in a fixed bed column filled with sand compared to a stirred vessel // Chem Eng Sci. - 2012. - Vol.68(1). - P.617-623. DOI 10.1016/j.ces.2011.10.030.

11. Longinos S.N. and Parlaktuna M. Examination of asparagine, aspartic acid and threonine in methane (95%)-propane (5%) gas hydrates as kinetic inhibitors // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. - 2021. - Vol. 134(1). - P.87-94. DOI 10.1007/s11144-021-02052-2.

12. Liang H, Yang L, Song Y, Zhao J. New approach for determining the reaction rate constant of hydrate formation via X-ray computed tomography // J Phys Chem C. -2020. - Vol.125(1). - P.42–48. DOI 10.1021/acs.jpcc.0c07801.

13. Sa J.H, Lee B.R, Park D.H, Han K, Chun H.D, Lee K.H. Amino acids as natural inhibitors for hydrate formation in CO2 sequestration//Environ Sci Technol. - 2011. -Vol.45(13).-P.5885-5891. DOI 10.1021/es200552c.

14. Longinos S.N, Parlaktuna M. Kinetic analysis of methane—propane hydrate formation by the use of different impellers // ASC Omega.-2021. -Vol.6(2). - P.1636–1646. DOI 10.1021/acsomega.0c05615.

15. Kelland M.W, Ke W. Kinetic hydrate inhibitor studies for gas hydrate systems: a review of experimental equipment and test methods // Energy Fuels.-2016.-Vol.30(12). - P.10015-10028. DOI 10.1021/acs.energyfuels.6b02739.

16. Kelland M.A, Reyes F.T, Trovik K.W. Tris (diakyloamino) cyclopropenium chlorides: tetrahy drofuran hydrate crystal growth inhibition and synergism with polyvinylcaprolactam as gas hydrate kinetic

inhibitor // Chem Eng Sci. - 2013. - Vol.93. - P.423-428. DOI 10.1016/j.ces.2013.02.033.

17. Roosta H, Dashti A, Mazloumi H, Varaminian F. Inhibition properties of new amino acids for prevention of hydrate formation in carbon dioxide water system: experimental ans modelling inves tigations // J Mol Liq. - 2016. -Vol.215. - P.656-663. DOI 10.1016/j.molliq.2016.01.039.

18. Longinos S.N. and Parlaktuna M. Kinetic analysis of arginine, glycine and valine on methane (95%)–propane (5%) hydrate formation // Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis. -2021. - Vol. 133(2). -P.741-751. DOI 10.1007/s11144-021-02018-4.

19. Longinos S.N. and Longinou D.D. Examination of different amino acids as methane-propane gas hydrate kinetic inhibitors in upstream industry. 2022. URL https://www.researchgate.net Date of address: 04.06.2022

20. Longinos S., Longinou D.D., Tuleugaliyev M. and Parlaktuna M. Examination of Cysteine, Glutamine and Isoleucine as Methane-Propane Gas Hydrate Kinetic Inhibitors // SPE Annual Caspian Technical Conference. - 2022. DOI 10.2118/212055-MS.

Авторлар туралы мәлімет

Бегалиев Д.Т.- «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, техника ғылымдарының магистрі, Орал, Қазақстан, e-mail:dastan.begaliyev@wkau.kz;

Жумагалиева Н.М.- «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, техника ғылымдарының магистрі, Орал, Қазақстан, e-mail:zhumagaliyeva.nurzhamal@inbox.ru;

Джусупкалиева Р.И.- «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, техника ғылымдарының магистрі, Орал, Қазақстан, e-mail: rozaid2@mail.ru;

Баямирова Р.У.- «Ш. Есенов атындағы каспий мемлекеттік технология және инжиниринг университеті» КеАҚ, техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ақтау, Қазақстан, e-mail: ryskol.bayamirova@yu.edu.k;

Кыдрашов А.Б. «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, PhD докторы, қауымдастырылған профессор, Орал, Қазақстан, e-mail: a.kydrashov@mail.ru;

Ержанова Ж.Т. «Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, техника ғылымдарының магистрі, Орал, Қазақстан, e-mail:nazim2008@mail.ru;

Султанов Ш. Х.- Уфа Мемлекеттік Мұнай Техникалық Университеті, техника ғылымдарының докторы, профессор, Уфа, Ресей, e-mail: ssultanov@mail.ru.

Information about the authors

Begaliyev D. T. - NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan”, master of technical sciences, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: dastan.begaliyev@wkau.kz;

Zhumagaliyeva N. M.- NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan”, master of technical sciences, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: zhumagaliyeva.nurzhamal@inbox.ru;

Jussupkaliyeva R.I.- NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan”, master of technical sciences, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: rozaid2@mail.ru;

Bayamirova R.U.- NJSC “Caspian State University of Technologies and Engineering named after S.Yessenov”, candidate of technical sciences, associate professor, Aktau, Kazakhstan, e-mail: ryskol.bayamirova@yu.edu.kz;

Kydrashov A.B.- NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan”, PhD doctor, associate professor, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: a.kydrashov@mail.ru;

Yerzhanova Zh. T.- NJSC “West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan”, master of technical sciences, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: nazim2008@mail.ru;

Sultanov Sh. Kh.- Ufa State Petroleum Technical University, doctor of technical sciences, professor, Ufa, Russia, e-mail: ssultanov@mail.ru.

МРНТИ 52.01.75 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1107**

DIGITAL TRANSFORMATION OF INDUSTRIAL SAFETY SYSTEMS BASED ON PERSONALIZED INTELLIGENT SOLUTIONS IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE PRODUCTION SECTOR OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

[1]D.A. Galiyev, [2]S.S. Abilkhanov, [3]A.T. Tekenova, [4]A.V. Maldynova

[1]Branch of the RSE NC CPMS RK "Institute of Mining named after D.A. Kunaev", Almaty, Kazakhstan,
[2]Karaganda University "Kazpotrebsoyuz", Karaganda, Kazakhstan,
[3]Satbaev University, Almaty, Kazakhstan,
[4]Qazaqstan Smart Technology LLP, Almaty, Kazakhstan
Correspondent-author: e-mail: info@qstechnology.kz

In the context of accelerated technological progress and global challenges related to sustainable development, the industrial sector of the Republic of Kazakhstan faces the task of rethinking approaches to ensuring industrial safety. The relevance of digital transformation in this area is due to the need to increase the level of worker protection, minimize man-made risks and integrate intelligent monitoring systems into the production environment. One of the innovative areas is the introduction of personalized intelligent solutions based on wearable devices that can provide continuous monitoring of the health, location and actions of personnel. This article discusses the theoretical foundations and practical aspects of the digitalization of industrial safety systems using new generation smart helmets.

Particular attention is paid to the analysis of the results of pilot tests conducted based on two enterprises of the mining sector of the Republic of Kazakhstan - Kostanay Minerals JSC, Solidcore Resources, and Bakyrchik Mining Enterprise LLP. During the testing, all key functional modules of the smart helmet were tested, including GPS navigation, video broadcasting, biometric sensors and gas analyzers. It was found that the implementation of these technologies can significantly increase the speed of response in emergency situations, strengthen control over compliance with labor protection requirements and ensure the collection of objective information about the production environment in real time.

Thus, the results demonstrate that smart helmets can become an integral part of the digital infrastructure of industrial safety. Their use is consistent with the strategic goals of sustainable development, including increasing the social responsibility of business, improving working conditions and reducing industrial injuries. This study lays the foundation for subsequent scaling of the use of intelligent safety systems in various sectors of the Kazakhstan industry.

Keywords: digitalization, industrial safety, sustainable development, intelligent personal protective equipment, smart helmet, Kazakhstan.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ӨҢДЕУШІ СЕКТОРЫНЫҢ ТҰРАҚТЫ ДАМУЫ ЖАҒДАЙЫНДА ДЕРБЕСТЕНДІРІЛГЕН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ШЕШІМДЕР НЕГІЗІНДЕ ӨНЕРКӘСІПТІК ҚАУІПСІЗДІК ЖҮЙЕЛЕРІН ЦИФРЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРУ

[1]Д.А. Галиев, [2]С.С. Әбілханов, [3]А.Т. Текенова, [4]А.В. Малдынова

[1]ҚР КПМ ҰК РМК филиалы «Д.А.Қонаев атындағы Тау-кен ісі институты, Алматы,Қазақстан,
[2]Қарағанды университеті «Қазтұтынуодағы», Қарағанды Қазақстан,
[3]Сәтбаев атындағы университет,Алматы, Қазақстан,
[4]«Qazaqstan smart technology» ЖШС, Алматы, Қазақстан,
e-mail: info@qstechnology.kz

Жеделдетілген технологиялық прогресс және тұрақты дамуға байланысты жаһандық сын-қатерлер жағдайында Қазақстан Республикасының өнеркәсіптік секторының алдында өнеркәсіптік қауіпсіздікті қамтамасыз ету тәсілдерін қайта қарастыру міндеті тұр. Бұл саладағы цифрлық трансформацияның өзектілігі қызметкерлерді қорғау деңгейін арттыру, техногендік тәуекелдерді барынша азайту және интеллектуалды мониторинг жүйелерін өндірістік ортаға біріктіру қажеттілігімен

түсіндіріледі. Инновациялық бағыттардың бірі – персоналдың денсаулығын, орналасқан жерін және іс-әрекетін үздіксіз бақылауды қамтамасыз ете алатын киілетін құрылғылар негізіндегі дербестендірілген интеллектуалды шешімдерді енгізу. Бұл мақалада жаңа буынның смарт каскалары арқылы өнеркәсіптік қауіпсіздік жүйелерін цифрландырудың теориялық негіздері мен практикалық аспектілері қарастырылады.

Қазақстан Республикасының тау-кен өндіру секторының екі кәсіпорнында – «Қостанай минералдары» АҚ, «Солидкор Ресорсиз» және «Бақыршық тау-кен өндіру кәсіпорны» ЖШС-да жүргізілген тәжірибелік сынақтардың нәтижелерін талдауға ерекше назар аударылады. Тестілеу аясында смарт дулығаның барлық негізгі функционалды модульдері, соның ішінде GPS навигациясы, бейнехабар тарату, биометриялық сенсорлар және газ анализаторлары сынақтан өтті. Бұл технологияларды енгізу төтенше жағдайлар кезінде әрекет ету жылдамдығын айтарлықтай арттыруға, еңбекті қорғау талаптарының сақталуына бақылауды күшейтуге және нақты уақыт режимінде өндірістік орта туралы объективті ақпарат жинауды қамтамасыз етуге мүмкіндік беретіні анықталды.

Осылайша, алынған нәтижелер смарт дулығалар өнеркәсіптік қауіпсіздіктің цифрлық инфрақұрылымының ажырамас бөлігі бола алатынын көрсетеді. Оларды пайдалану тұрақты дамудың стратегиялық мақсаттарына, соның ішінде бизнестің әлеуметтік жауапкершілігін арттыруға, еңбек жағдайларын жақсартуға және өндірістік жарақаттарды азайтуға сәйкес келеді. Бұл зерттеу Қазақстан өнеркәсібінің әртүрлі салаларында қауіпсіздіктің зияткерлік жүйелерін қолдануды кейіннен масштабтаудың негізін қалайды.

Түйін сөздер: цифрландыру, өнеркәсіптік қауіпсіздік, тұрақты даму, интеллектуалды жеке қорғаныс құралдары, смарт каска, Қазақстан.

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА БАЗЕ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

[1]Д.А. Галиев✉, [2]С.С. Әбілханов, [3]А.Т. Текенова, [4]А.В. Малдынова

[1]Филиал РГП НЦ КПМС РК «Институт горного дела им Д.А.Кунаева», Алматы, Казахстан,
[2]Карагандинский университет «Казпотребсоюза»,Караганда, Казахстан,
[3]Satbaev University,Алматы, Казахстан,
[4]ТОО «Qazaqstan smart technology»,Алматы, Казахстан,
e-mail: info@qstechnology.kz

В условиях ускоренного технологического прогресса и глобальных вызовов, связанных с устойчивым развитием, перед промышленным сектором Республики Казахстан встаёт задача переосмысления подходов к обеспечению промышленной безопасности. Актуальность цифровой трансформации в данной сфере обусловлена необходимостью повышения уровня защищённости работников, минимизации техногенных рисков и интеграции интеллектуальных систем мониторинга в производственную среду. Одним из инновационных направлений выступает внедрение персонализированных интеллектуальных решений на базе носимых устройств, способных обеспечивать постоянный контроль за состоянием здоровья, местоположением и действиями персонала. В данной статье рассматриваются теоретические основы и практические аспекты цифровизации систем промышленной безопасности с использованием умных касок нового поколения.

Особое внимание уделено анализу результатов опытно-промышленных испытаний, проведённых на базе двух предприятий горнодобывающего сектора Республики Казахстан - АО «Костанайские минералы», Solidcore Resources ТОО «Бакырчикское горнодобывающее предприятие». В рамках тестирования были апробированы все ключевые функциональные модули умной каски, включая GPS-навигацию, видеотрансляцию, биометрические сенсоры и газоанализаторы. Установлено, что внедрение данных технологий позволяет существенно повысить оперативность реагирования

в нештатных ситуациях, усилить контроль над соблюдением требований охраны труда и обеспечить сбор объективной информации о производственной среде в режиме реального времени.

Таким образом, полученные результаты демонстрируют, что умные каски могут стать неотъемлемым элементом цифровой инфраструктуры промышленной безопасности. Их использование соответствует стратегическим целям устойчивого развития, включая повышение социальной ответственности бизнеса, улучшение условий труда и снижение производственного травматизма. Настоящее исследование закладывает основу для последующего масштабирования применения интеллектуальных систем безопасности в различных отраслях казахстанской промышленности.

Ключевые слова: цифровизация, промышленная безопасность, устойчивое развитие, интеллектуальные средства индивидуальной защиты, умная каска, Казахстан.

Introduction. The current stage of industrial development is characterized by the active introduction of digital technologies, which forms a new paradigm for managing production processes aimed at increasing efficiency, sustainability and safety. As part of this transformation, special attention is paid to issues of labor protection and industrial safety, since these areas are most vulnerable to the human factor, technological failures and external risks. For countries with a high level of industrialization, such as the Republic of Kazakhstan, where the mining and manufacturing industries occupy a key place in the economy, the issue of transition to intelligent safety management systems is becoming a priority. Traditional approaches to ensuring industrial safety - regulation, control, personnel training - are gradually being supplemented by new methods based on the use of the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), biometric analysis and video surveillance. In this context, a special place is occupied by wearable intelligent devices, or so-called ”smart helmets”, which allow you to collect, process and transmit data about the worker and his environment to central monitoring systems in real time. This opens up opportunities for a personalized approach to safety, where each employee becomes an active element of the digital production ecosystem.

The purpose of this study is to substantiate the effectiveness of the digital transformation of industrial safety systems based on the introduction of personalized intelligent solutions that have been tested in real production conditions. To achieve this goal, a set of measures was implemented, including the development of prototypes of smart helmets, their technological adaptation to the conditions of Kazakhstani enterprises, as well as pilot industrial tests.

The work covers the entire implementation cycle - from the conceptual design of an intelligent device to the analysis of its operation in the field at two industrial sites: Kostanay Minerals JSC and Bakyrchik Mining Enterprise LLP. The choice of these objects is due to their diversity in terms of operating conditions, the structure of the production process and safety requirements. This approach made it possible to obtain representative data and conduct a comparative analysis of the effectiveness of the technological solution in various production contexts. Thus, this publication not only records the fact of the use of smart helmets in the domestic industry, but also represents an example of a comprehensive scientific and practical study aimed at forming new safety standards in accordance with the principles of sustainable development and digitalization.

The figure shows the main modules and interfaces of the intelligent device: visualization of the location of the controls on the helmet body, the communication channels used (4G/Wi-Fi/Bluetooth), gas analysis systems (CO, CH_4, H_2S, NH_3, SO_2), biometric monitoring and visual control, as well as software displaying monitoring data in real time.

Literature review. Modern research in the field of digital transformation of industrial systems emphasizes that one of the key tasks in the context of Industry 4.0 is to ensure the safety of production personnel using intelligent technologies. In the

context of the increasing complexity of production processes, growing volumes of information and increasing external risks, traditional methods of labor protection (briefings, scheduled inspections, routine measures) demonstrate limited adaptability to changing working conditions [1].



Fig.1 - Functional diagram and capabilities of the intelligent helmet

One of the most promising areas in the field of digital transformation of industrial safety is the integration of the Internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI) into monitoring and control systems. Research by international experts [2, 3] demonstrates that the use of smart wearables, such as smart helmets, can significantly increase the speed of response to potential hazards, reduce dependence on the human factor, and provide a personalized approach to risk management.

In particular, Jieyu Chen et al. [4] note that the use of smart helmets with biometric sensors and GPS modules allows real-time tracking of the worker' s location, level of fatigue, exposure to harmful factors (temperature, gas, vibration), which is critical in the mining and manufacturing industries. These devices are integrated into the overall digital infrastructure of the enterprise, forming an adaptive safety ecosystem.

Kazakhstani research in this area is still primarily applied in nature and focuses on the implementation of pilot projects at large enterprises. For example, the report of the National Agency for Technological Development highlights the growing interest of mining companies in wearable electronics and automated monitoring of working conditions [5]. In particular, enterprises such as Kostanay Minerals JSC and Bakyrchik Mining Enterprise LLP are implementing pilot initiatives to introduce smart helmets in cooperation with domestic developers of digital solutions [6].

In addition, a number of publications devoted to the specifics of labor protection in Kazakhstan indicate the need to adapt imported technologies to local production conditions, including climatic features, regulatory framework and the level of digital maturity of personnel [7] The importance of training and digital literacy of employees as a key condition for the successful digitalization of the safety system is also emphasized.

Thus, the analysis of scientific and industry literature allows us to identify several stable trends:

- the growing importance of intelligent wearable devices as a tool for preventing industrial

incidents;

- integration of IoT, AI and biometrics into security systems as a path to proactive risk

management;

- the need to localize solutions taking into account industry and regional specifics, especially in the context of the Kazakhstan industrial model.

These provisions serve as a scientific and practical basis for this study, aimed at a comprehensive assessment of the effectiveness of the implementation of ”smart helmets” at domestic industrial facilities.

Materials and methods. This research is implemented within the framework of an interdisciplinary approach combining methods of system analysis, cyber-physical systems, digital engineering, labor protection and principles of sustainable development. Modern models of digitalization of the production environment, including the use of wearable intelligent devices as elements of the Industrial Internet of Things (IIoT), are used as a conceptual basis. Particular attention is paid to the integration of modules of biometric monitoring, GPS navigation, video analytics and environmental analysis in order to form personalized industrial safety systems.

The objective of the applied part of the study was to confirm the functional viability of smart helmets in the conditions of the current production cycle. For this purpose, pilot tests were organized on the basis of:

- Kostanay Minerals JSC - an enterprise with underground and aboveground works;

- Bakyrchik Mining Enterprise LLP - open-pit mining in conditions of high temperatures and dust.

The tests were conducted using smart helmets equipped with the following modules:

- GPS monitoring - to track workers’ movements in hazardous areas;

- Camera with video transmission - for remote monitoring and recording of

violations;

- Biometric sensors - to monitor body temperature, pulse, signs of overload;

- Gas analyzers - to monitor the content of CO, CH_4, H_2S and other gases;

- Data transmission - via 4G/Wi-Fi to a centralized control panel.

During the tests, data was collected on the following parameters: accuracy and speed of transmission, signal stability, completeness of biometric data, reliability of event recording (e.g., removing a helmet), as well as compliance with labor protection standards. Technical results and performance parameters (table 1).

The test results showed that all helmets demonstrated stable operation even with an unstable connection and in an aggressive environment. The function of controlling the wearing of a helmet turned out to be especially important - each case of removal was recorded with 100% accuracy, including violations of labor protection rules.

User perception and interface assessment. A survey was also conducted among users (machinists, operators, labor protection specialists), which made it possible to assess the subjective parameters of efficiency (table 2).

Legal and regulatory integration. It is important to note that the implementation of digital solutions in Kazakhstan is associated with separate regulatory and legal work that goes beyond classical certification. Unlike conventional PPE, smart helmets contain electronic and cryptographic modules, which requires:

- certification according to technical regulations (TR CU 019/2011, 020/2011);

- obtaining permission to import both radio-electronic and high-frequency devices;

- licensing of cryptographic components (CIPF);

- registration as telecommunications equipment.

These procedures are regulated by the relevant authorities (Technical Regulation Committee, National Security Committee, MIIR, etc.) and require the involvement of specialists, accredited laboratories, and in some cases, evidence-based scientific and technical documentation (table 3).

Table 1 - Key performance indicators of smart helmets

№	Parameter	Units	Average values	Operating conditions
1	Event response time	seconds	3.5	Notification when removing a helmet or emergency
2	Positioning accuracy	meters	±1.8	Quarry, mine
3	Video signal stability	% time online	97%	Wi-Fi/4G zone
4	Biometric data transmission frequency	% time	92%	Continuous monitoring
5	Helmet removal detection	% accuracy	100%	Entry/exit from a dangerous zone
6	Average CO level in peak zones	mg/m³	12.6 (MPC: 10)	Areas with insufficient ventilation
7	Body temperature range	°C	36,3–37,9	Employees on shift

Table 2 - User assessment of functionality (on a 5-point scale)

№	Criterion	Average score	Staff comments
1	Ease of wearing	4,1	Minor discomfort in the heat
2	Ease of learning the interface	4,5	Most mastered it in 1 shift
3	Communication and data transfer	4,6	Steady even in the depths of the quarry
4	Usefulness of video monitoring	4,8	Allows to identify hidden risks
5	Reliability of biometrics	4,3	Affects behavioral discipline
6	Overall satisfaction	4,7	Employees recommended for implementation

Table 3 - Stages of regulatory legitimization of a digital product in the Republic of Kazakhstan

№	Stage	Competent Authority	Completion time (estimated)
1	Certification as PPE	National Certification Center, NCA	4-6 weeks
2	Permission to import electronics	Technical Regulation Committee	2-4 weeks
3	License to sell CIPF	National Security Committee of the Republic of Kazakhstan	6-8 weeks
4	Registration as a Telecom device	Minister of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan	3-5 weeks

Thus, the legalization of a digital product in Kazakhstan is an independent scientific and administrative process that requires not only technical expertise, but also an understanding of the regulatory environment. In addition, the legalization of a digital product is an important link in the entire methodology and should be planned in parallel with the engineering development of the device.

Results and discussion. The results of pilot tests confirm both the technical reliability and practical feasibility of implementing intelligent personal protective equipment at production facilities. During the work, special attention was paid not only to testing the devices, but also to the preliminary stage of selecting technical solutions, which predetermined a high degree of compliance between the functional purpose of the equipment and specific operating conditions.

The selection of smart helmets for testing was carried out based on the criterion of functional completeness, which is absent in a number of existing solutions on the Kazakhstan market. In particular, the domestic market has devices with limited functionality, often purchased in China under the guise of localized developments - the so-called ”combs”, equipped with only basic modules (for example, a camera and a GPS tracker) without deep integration with biometric and environmental analysis systems. The helmets tested stood out in that they provided comprehensive monitoring of both the external environment and the state of the worker, allowing the implementation of an approach to safety as an adaptive, personalized system [8].

Key confirmed results include:

-wearing control: the device’ s wearing sensors automatically recorded the fact of removing or not wearing a helmet during a shift, which is critical for high-risk facilities. This parameter is missing from most competing solutions;

- biometric monitoring: integration with wearable bracelets ensured the registration of body temperature, pulse, physical activity, which made it possible to identify fatigue, overheating, or stress in workers. The system demonstrated stable data transmission with an accuracy suitable for real-time analysis;

- gas analyzers: built-in sensors determined the concentrations of carbon monoxide (CO), methane (CH_4), hydrogen sulfide (H_2S), ammonia (NH_3), and sulfur dioxide (SO_2). This made it possible to record excesses of the maximum permissible concentrations at work sites without the need to deploy a separate stationary gas analysis system;

- video surveillance and recording: a built-in camera with online broadcast function

provided remote visual control over the actions of employees, especially in confined spaces and underground workings. The image was transmitted to a centralized platform, where an archive and analysis of incidents was maintained. • Geolocation control: the GPS system tracked the movements of workers in real time, with the ability to create “safety zones” and immediately notify in the event of going beyond them [9].

The system demonstrated high stability of operation under different levels of illumination, temperature and dustiness, which is critically important in mining conditions. The received data was transmitted via 4G/wi-fi networks and aggregated in the central control panel, which allowed operators to make decisions based on objective and continuous information.

It is important to emphasize that the use of smart helmets not only increased the level of industrial safety, but also had a positive impact on the behavioral patterns of workers. It was found that awareness of constant monitoring and linking the helmet to the physiological state increase personal responsibility for compliance with labor protection regulations [10].

In terms of compliance with international requirements, smart helmets demonstrate high potential for integration with occupational health and environmental safety management systems that comply with ISO 45001 (occupational health and safety management) and ISO 14001 (environmental management) standards. Their use also supports the implementation of the ESG approach, which

provides for social safety and sustainability in production. Overall, the tests conducted showed that the new generation of intelligent helmets form the technological basis for the transition from reactive to preventive and adaptive methods of ensuring industrial safety in Kazakhstan.

Conclusion.The conducted work entitled ”Digital transformation of industrial safety systems based on personalized intelligent solutions in the context of sustainable development of the manufacturing sector of the Republic of Kazakhstan” is a significant contribution to the scientific understanding and practical implementation of the new paradigm of labor protection and industrial safety. In the context of accelerated digitalization and the need to increase the sustainability of production processes, the study meets the key challenges of the time and serves as a starting point for the development of highly effective, adaptive and integrated solutions in the labor protection system.

For the first time in the Republic of Kazakhstan, personalized intelligent solutions in the form of smart helmets were not only tested, but also considered in a broad scientific, methodological, engineering and regulatory context. Tests in the conditions of operating enterprises demonstrated the sustainability of the solutions, their accuracy, usefulness and practical effectiveness. The results proved that the use of smart helmets allows you to form a proactive safety management model based on real data on the behavior, physiological state and environment of the worker. The significance of this work is confirmed not only by the technical results, but also by the very structure of the research implementation: both experienced scientists and young researchers and doctoral students took part in the project, thereby ensuring the continuity of the scientific school and the development of the research potential of Kazakhstan. This emphasizes the importance of combining academic science, engineering practice and production management in a single innovative circuit. It is also emphasized that in the context of Kazakhstan, digital transformation requires not only technological but also institutional efforts. Legitimization of such decisions is an independent task, including certification of personal protective equipment, licensing of import of electronic components, as well as permission to use cryptographic modules. All these procedures require time, expert competencies and participation of the scientific community, which makes the role of research organizations critically important. The study opens up prospects for further standardization, integration of intelligent devices into industrial IIoT platforms, as well as expansion of the regulatory framework of the Republic of Kazakhstan. The practical significance and reproducibility of the results make it possible to scale up the project not only within the country, but also at foreign industrial sites.

The value of this work is that it has combined digital technologies, scientific expertise, production experience and regulatory support into a single strategy for modernizing industrial safety systems. This is consistent not only with national development priorities, but also with the global agenda in the field of ESG and sustainable industrial growth.

Thus, the work ”Digital transformation of industrial safety systems based on personalized intelligent solutions in the context of sustainable development of the manufacturing sector of the Republic of Kazakhstan” serves as a convincing example of how solutions can be created at the intersection of science, technology and production that can change the approach to labor safety, increase the prestige of the domestic engineering school and export Kazakhstani competencies beyond the country.

References

1. Bagherinejad J., Jolai F., Abdollahnejad R., Shoeib M. A hybrid algorithm based on non-dominated sorting ant colony and genetic algorithms for solving multi-objective multi-mode project scheduling problems under resource constraints // Management and Production Engineering Review. -2020. – Vol.11 (7). – P.88-98. DOI 10.24425/mper.2020.133731

2. Babkin A., Tashenova L., Mamrayeva D.. A Structural Functional Model for Managing the Digital Potential of a Strategic Innovatively Active Industrial Cluster //International Journal of Technology. - 2021. – Vol.12 (7). – P.13-59. DOI 10.14716/ijtech.v12i7.5350.

3. Issatayeva F.M., Aubakirova G.M., Maussymbayeva A.D., et al. Fuel and Energy Complex of Kazakhstan: Geological and Economic Assessment of Enterprises in the Context of Digital Transformation // Energies. – 2023. – Vol.16 (16). – No.6002. DOI 10.3390/en16166002.

4. Chen J., Shi T., Li N, Pedestrian evacuation simulation in indoor emergency situations: Approaches, models and tools//Safety Science. -2021 – Vol.142. P.105-378. DOI 10.1016/j.ssci.2021.105378.

5. OECD. Improving Framework Conditions for the Digital Transformation of Businesses in Kazakhstan. – OECD Publishing. – Paris. - 2023. DOI:10.1787/368d4d01-en.

6. Uskenbayeva R.K., Mukazhanov N.K. Creation multidimensional model of data for information and analytical systems // Vestnik KazNTU.- 2013. - № 4. - P.106-111.

7. Galiyev S.Zh., Uteshov E.T., Galiyev D.A. Napravleniya povysheniya energéffektivnosti na otkrytykh razrabotkakh mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh //Vestnik KazUTB. – 2023. - T.2(19). +S.80-89. DOI 10.58805/kazutb.v.2.19-100. [in Russian].

8. Mamrayeva D.G. Industry Digitalization in the Republic of Kazakhstan // Bulletin of the Karaganda University. Economy Series. - 2023. T.105 (1). - P.54-67. DOI 10.31489/2022Ec1/54-67.

9. Ryabov S.V. Digital Solutions for Occupational Safety and Health Management: The Transformation of ERG in Kazakhstan // Social Policy and Innovation.- 2024. – №1. – P.37–39. DOI 10.70842/rniiot.2024.1.1.008.

10. Babkin A., Tashenova L., Mamrayeva D., et al. Digitalization of Industry in Russia and Kazakhstan: The Best Practices // International Journal of Technology. – 2022. – Vol.13 (7). – P.1568–1577. DOI 10.14716/ijtech.v13i7.6200.

Information about author

Galiyev D.A. - doctor PhD, Branch of the RSE NC CPMS RK ”Institute of Mining named after D.A. Kunaev”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: info@qstechnology.kz;

Abilkhanov S.S. - Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: Seilkhan.Abilkhanov@gmail.com;

Tekenova A.T.- Doctoral student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: amazhekenova@mail.ru;

Maldynova A.V.- doctor PhD, Qazaqstan smart technology LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: aizhanam@gmail.com,

Сведения об авторах

Галиев Д.А.- доктор PhD, РГП НЦ КПМС РК «Институт горного дела им Д.А.Кунаева», Алматы, Казахстан, e-mail: info@qstechnology.kz;

Абилханов С.С.- Карагандинский университет «Казпотребсоюза»,Караганда, Казахстан, e-mail: Seilkhan.Abilkhanov@gmail.com;

Текенова А.Т.- докторант, Satbaev University, Алматы, Казахстан, e-mail: amazhekenova@mail.ru

Малдынова А.В.- доктор PhD, ТОО «Qazaqstan smart technology», Алматы, Казахстан, e-mail: aizhanam@gmail.com.

IRSTI 52.31.01 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1069**

STRATIGRAPHIC AND STRUCTURAL FEATURES OF IRON ORE DEPOSITS OF THE SILICO-CARBONATE FORMATION OF CENTRAL KAZAKHSTAN

[1]V.O. Kim, [2]V.V. Cheskidov, [3]A.D. Maussymbayeva, [1]R.K. Madisheva, [1]F.M. Issatayeva, [1]N.S. Askarova, [1]S.B. Imanbaeva

[1]Non-profit joint stock company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Karaganda, Kazakhstan,
[2] University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation,
[3] University of Illinois at Urbana Champaign, Champaign, USA
Correspondent-author: adambekova_farid@mail.ru

The article considers stratigraphic and structural features of the formation of iron ore deposits confined to the siliceous-carbonate formation of Central Kazakhstan, using the Kentobe-Togai group as an example. A comprehensive analysis of lithological and stratigraphic conditions, morphology of ore bodies, fault systems and metasomatic transformation zones is carried out. Key patterns are revealed: confinement of ore bodies to reactive carbonate-siliceous deposits of the Upper Devonian and Lower Carboniferous; formation of ores in zones of contact metamorphism during the intrusion of granitoids; the active role of faults in the localization and segmentation of deposits; pronounced vertical zoning of the mineral composition of ores; as well as parametric heterogeneity of bodies. These features taken together form unique geological systems, where mineralization is regularly controlled by stratigraphy and structure.

Geological maps, sections and three-dimensional wireframe models of the Kentobe-Togay group deposits with visualization of ore bodies, faults and intrusions are presented, demonstrating a close spatial relationship between tectonics, magmatism and iron enrichment. The results emphasize the need to apply modern methods of 3D modeling, geostatistical interpolation and structural analysis in assessing the resources of such deposits, and also show that the established patterns are universal and can be applied to predict and model similar objects.

Keywords: central Kazakhstan, iron ores, stratiform deposits, siliceous-carbonate formations, tectonics, metamorphism, 3D modeling of iron ore deposits.

СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КРЕМНИСТО-КАРБОНАТНОЙ ФОРМАЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА

[1]В.О. Ким, [2]В.В. Ческидов, [3]А.Д. Маусымбаева, [1]Р.К. Мадишева, [1]Ф.М. Исатаева, [1]Н.С. Асқарова, [1]С.Б. Иманбаева

[1]Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан,
[2]Университет науки и технологий МИСИС, Москва, Российская Федерация,
[3]University of Illinois at Urbana Champaign, Champaign, USA,
e-mail: adambekova_farid@mail.ru

В статье рассмотрены стратиграфические и структурные особенности формирования железорудных месторождений, приуроченных к кремнисто-карбонатной формации Центрального Казахстана, на примере Кентобе-Тогайской группы. Проведён комплексный анализ литолого-стратиграфических условий, морфологии рудных тел, систем разломов и зон метасоматического преобразования. Выявлены ключевые закономерности: приуроченность рудных тел к реакционно-способным карбонатно-кремнистым отложениям верхнего девона и нижнего карбона; формирование руд в зонах контактного метаморфизма при внедрении гранитоидов; активная роль разломов в локализации и сегментации залежей; выраженная вертикальная зональность минерального состава руд; а также параметрическая неоднородность тел. Эти признаки в совокупности формируют уникальные геологические системы, где минерализация закономерно контролируется стратиграфией и структурой.

Представлены геологические карты, разрезы и трёхмерные каркасные модели месторождений Кентобе-Тогайской группы с визуализацией рудных тел, разломов и интрузий, демонстрирующие тесную пространственную взаимосвязь между тектоникой, магматизмом и железообогащением. Полученные результаты подчёркивают необходимость применения современных методов 3D-моделирования, геостатистической интерполяции и структурного анализа при оценке ресурсов таких месторождений, а также показывают, что установленные закономерности обладают универсальностью и могут быть применены для прогнозирования и моделирования аналогичных объектов.

Ключевые слова: центральный Казахстан, железные руды, стратиформные месторождения, кремнисто-карбонатные формации, тектоника, метаморфизм, 3D моделирование железорудных месторождений.

ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАННЫҢ КРЕМНИЙ-КАРБОНАТТЫ ҚАБЫЛДАУЫНЫҢ ТЕМІР РУДАЛАРЫНЫҢ СТРАТИГРАФИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

[1]В.О. Ким, [2]В.В. Ческидов, [3]А.Д. Маусымбаева, [1]Р.К. Мадишева, [1]Ф.М. Исатаева✉, [1]Н.С. Асқарова, [1]С.Б. Иманбаева

[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Қарағанды, Қазақстан,
[2] Ғылым және технология университеті МИСИС, Мәскеу, Ресей Федерациясы,
[3]University of Illinois at Urbana Champaign, Champaign, USA,
e-mail: adambekova_farid@mail.ru

Мақалада Кентөбе-Тоғай тобы мысалында Орталық Қазақстанның кремнийлі-карбонатты формациясымен шектелген темір кен орындарының қалыптасуының стратиграфиялық және құрылымдық ерекшеліктері қарастырылған. Литологиялық және стратиграфиялық жағдайларға, кен денелерінің морфологиясына, жарылу жүйелеріне және метасоматикалық трансформация аймақтарына кешенді талдау жүргізілді. Негізгі заңдылықтар анықталды: кен денелерінің жоғарғы девон және төменгі карбонның реактивті карбонатты-кремнийлі кен орындарымен шектелуі; гранитоидтарды интродукциялау кезінде контактілі метаморфизм аймақтарында кендердің түзілуі; кен орындарын оқшаулау мен сегменттеудегі ақаулардың белсенді рөлі; кендердің минералдық құрамын айқын тік аудандастыру; сонымен қатар денелердің параметрлік гетерогенділігі. Бұл ерекшеліктер минералдану стратиграфиясы мен құрылымымен дәйекті түрде бақыланатын бірегей геологиялық жүйелерді құрайды.

Кентөбе-Тоғай топтық кен орындарының геологиялық карталары, көлденең қималары және 3D сым каркас модельдері, тектоника, магматизм және темірдің байыту арасындағы тығыз кеңістіктік байланысын көрсететін кен денелері, бұзылулар мен интрузиялар бейнеленген. Алынған нәтижелер мұндай кен орындарының ресурстарын бағалауда 3D модельдеудің, геостатистикалық интерполяцияның және құрылымдық талдаудың заманауи әдістерін қолдану қажеттілігін көрсетеді, сондай-ақ белгіленген заңдылықтардың әмбебап екенін және ұқсас объектілерді болжау және модельдеу үшін қолдануға болатынын көрсетеді.

Түйін сөздер: Орталық Қазақстан, темір рудалары, стратиформды кен орындары, кремнийлі-карбонатты түзілімдер, тектоника, метаморфизм, темір кен орындарының 3D модельдеу.

Introduction. Iron is one of the fundamental elements of modern civilization, underlying the production of steel and, consequently, all branches of industry, construction and infrastructure. Iron ore deposits, as the main source of this metal, play a strategically important role in ensuring economic sustainability and industrial development. Their study entails not only practical benefits for mining, but also fundamental scientific tasks related to the reconstruction of geological processes, forecasting ore bodies and understanding the conditions of their formation [1].

At the global level, a significant diversity of genetic types of iron ore deposits has been established, including magmatic, hydrothermal, sedimentary, skarn and stratiform [2]. Among them, stratiform iron ore deposits are of particular interest, since they are often associated with stable stratigraphic horizons and are characterized by a high degree of homogeneity and predictability of the occurrence of ore bodies. Particularly valuable scientific data are provided by cases of contact-metamorphosed stratiform deposits, which combine elements of sedimentary, metasomatic and tectonic mineralization.

Central Kazakhstan, which is part of the Caledonian and Hercynian fold belt, is characterized by complex tectonic development and a high diversity of volcanogenic-sedimentary and intrusive complexes. Siliceous-carbonate formations are widespread in this region, on the basis of which stratiform iron ore deposits have developed, subjected to contact metamorphism and skarn-hornfels transformations. These geological conditions create favorable prerequisites for the formation of significant iron reserves, especially in areas of interaction of granitoid intrusions with carbonate and terrigenous strata of Devonian and Carboniferous age [2, 3].

A typical example of such geological systems is the Kentobe-Togay group of deposits located in the Karkaraly district of the Karaganda region. These deposits are localized along exocontacts of granodiorite intrusions and demonstrate stratiform placement of ore bodies metamorphosed under contact conditions. Magnetite, martite, hematite and skarnoid ores are noted here, combined with elements of gold-copper and polymetallic mineralization [geological report]. Stratigraphically, ore-bearing horizons are confined to siliceous-carbonate and terrigenous-shale deposits that have undergone metasomatic changes.

Despite the high resource significance of the region, the geological exploration of deposits in Central Kazakhstan is significantly inferior to similar objects in Northern Kazakhstan, where the largest magnetite deposits in the country are concentrated [2, 3]. This makes research in the field of stratigraphic and structural patterns of Central Kazakhstan particularly relevant both from the point of view of replenishing the mineral resource base and for the development of scientific ideas about ore-forming systems in conditions of complex metamorphism and tectonic activation.

This study is aimed at a comprehensive analysis of stratigraphic and structural factors contributing to the formation of iron ore mineralization within the siliceous-carbonate formations of Central Kazakhstan. The main objective is to identify key geological features that can serve as indicators for forecasting and evaluating new ore objects in similar geological conditions.

Materials and methods. The main object of the study is the Kentobe-Togay group of iron ore deposits located in the Karkaraly region of Central Kazakhstan. Geological objects are represented by stratiform and contact-metamorphosed iron ore bodies confined to the Upper Devonian and Lower Carboniferous siliceous-carbonate formations. The initial basis for the analysis was the data of a geological survey on a scale of 1:10,000, materials from drilling exploration wells, geophysical and geochemical studies.

For spatial analysis and geological modeling, specialized software packages were used: Leapfrog and Surpac, in which the following were performed:

- construction of three-dimensional wireframe models of ore bodies, intrusions and faults;

- integration of stratigraphic, structural and lithological data;

- preparation of models for the development of a block model and interpolation of useful component contents.

Additionally, the study used comparative materials on a similar iron ore object, in particular on the Western Karazhal deposit, in order to substantiate the applicability of the developed approaches to other similar geological systems in the region [4].

Geological setting of the region. Central Kazakhstan is one of the most geologically complex territories of the country, where elements of Caledonian and Hercynian folding, intrusive and

volcanogenic-sedimentary complexes of different ages and compositions, as well as numerous fault and folded structures are combined. These factors determine the diversity of the lithological section and the presence of favorable conditions for the formation of iron ore bodies, especially stratiform and contact-metamorphosed ones.

Ore-bearing complexes are mainly associated with Devonian and Lower Carboniferous deposits, including alternation of limestones, dolomites, siliceous and silty-clayey shales. These rocks often form stable stratigraphic horizons in which ore bodies are localized. The most productive strata are those that have undergone contact metamorphism during the intrusion of granitoids (granodiorites, biotite granites), forming exocontact zones of mineralization.

Key iron ore bodies are confined to the zones of interaction of Devonian siliceous-carbonate deposits with intrusions, which causes the development of hornfelses, skarns and skarnoids. In the contact zones, recrystallization processes, replacement of carbonates by iron-containing minerals (magnetite, martite, hematite), and the formation of parageneses with the participation of garnet, epidote, pyroxene and amphibole occur. The most typical mineralization is found within the Karkaraly, Atasuy, Karsakpai and Ereimentau structural-formational zones. The Karkaraly region contains the Kentobe, Sarybulak, Togay objects, characterized by lenticular, sheet-like and columnar ore bodies occurring along stratigraphic and tectonic contacts [5].

The tectonic architecture of the region is represented by a system of sublatitudinal and submeridional faults that control both the placement of intrusions and the position of ore bodies. Most deposits are oriented along tectonic faults and are localized in fault intersection zones. Dislocations, strike-slip and normal faults, often accompanied by zonal skarnoid belts, play an important role. The lithological and formational features of iron-bearing strata vary from siliceous-dolomite and calcareous-siliceous to carbonate-shale complexes. Upper Devonian (Famennian) and Lower Carboniferous (Tournaisian-Vashkir) deposits often contain interlayers of ferruginous quartzites, siderite and hematite ores that have undergone late metamorphic and tectonic reworking. In these rocks, ores often retain a stratified texture and a layered-lenticular morphology, indicating the stratiform nature of mineralization [5].

The morphology of ore bodies varies from extended layers to isometric lenses, occurring both in parallel and diagonal positions to the layering of the host rocks. In the central part of the region, there are also skarnified bodies - ore stocks, vein bodies replacing carbonate rocks along cracks and zones of fragmentation. The characteristics of ore-bearing complexes of iron ore deposits in central Kazakhstan by formations are presented in Table 1.

An example is the Kentobe deposit, where ore bodies are localized at the contact of granodiorites with terrigenous-carbonate rocks, are sheet-like bodies of magnetite and martite, with oxidation zones (up to 20-25 m), enriched in hematite. A complex combination of stratigraphic and tectonic factors is noted here - ore bodies gravitate towards zones of shear, folding and intrusion of intrusions. In some cases, as in the Sarybulak and Togai areas, iron ore bodies appear against the background of significant lithological variability, partial re-mineralization and the presence of associated elements (barite, manganese, polymetals). This indicates a multi-stage ore formation and a combination of sedimentation, metamorphogenic and hydrothermal processes. In Fig.1 shows a geological map of the Kentobe-Togai ore field, which shows the connection of ore-bearing deposits with siliceous-carbonate rocks of the Devonian and Carboniferous ages, as well as the numerous tectonic faults in the mineralization zone [5].

In the environment of Central Kazakhstan, green shale and low-temperature regional metamorphism facies are also widely represented, which limits the development of typical skarns, but promotes the formation of skarnoids and iron micro-redeposition zones. These processes play an important role in the mobilization and redistribution of iron, as well as in the formation of ore bodies with transitional texture and heterogeneous mineral composition [6].

Stratigraphic features. The largest iron ore

deposits in Central Kazakhstan are confined to stratigraphic horizons formed within the Devonian and Lower Carboniferous deposits. The most productive in terms of mineralization are the siliceous-carbonate and terrigenous-shale complexes of the Upper Devonian (Famennian) and Lower Carboniferous (Tournaisian stage), represented by interbedded limestones, dolomites, siliceous shales and silts [6].

Table 1 – Comparative characteristics of ore-bearing complexes (formation, lithology, ore type, body morphology, contact structure)

Formation	Lithology	Ore type	Morphology of bodies	Contact structure
Siliceous-carbonate (Upper Devonian)	Limestones, dolomites, cherts	Magnetite, martite	Tabular, lenticular	Conformable bedding, partial folding
Terrigenous-carbonate (Lower Carboniferous)	Siltstones, shales, limestones	Hematite, siderite	Layered, columnar	Faulted bedding, faults
Siliceous shale (Middle Devonian)	Shales, chert tuffs, sandstones	Martite-hematite with inclusions of pyrite	Lenses, veins	Diffuse transition to intrusions
Contact metamorphosed complexes	Hornfels, metamorphosed limestones	Magnetite-hematite	Isometric, block bodies	Clear exocontact with granitoids
Scarnoid zones (exocontact)	Garnet-epidote, chlorite skarns	Skarnoid iron ores	Lenses and scattered phenocrysts	Tectonic fracture zones

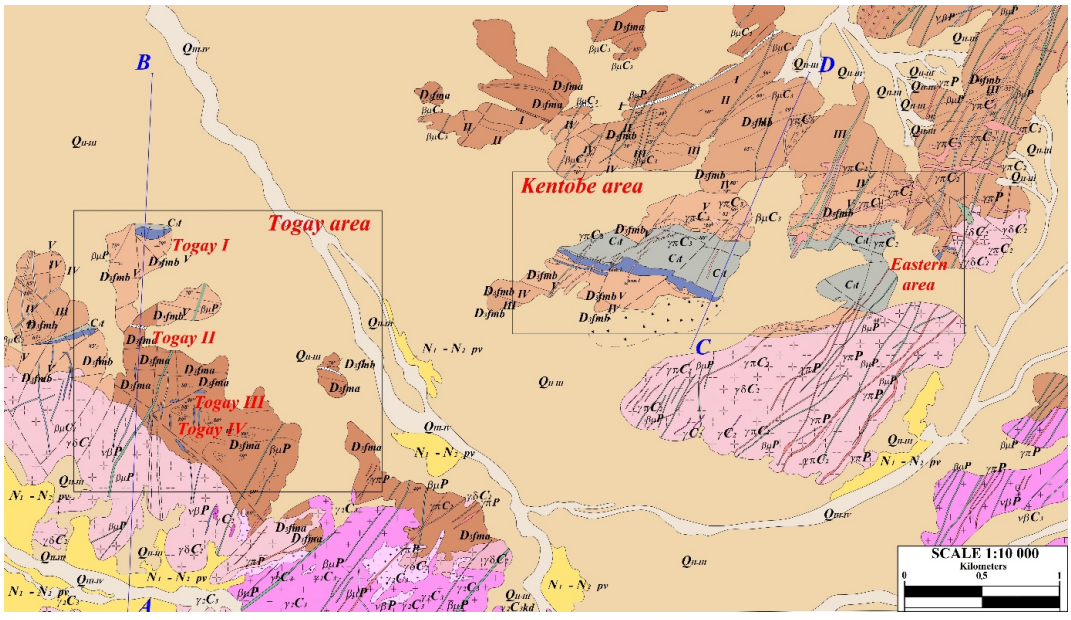


Fig.1 – Geological map of the Kentobe-Togai ore zone with intrusions, faults and ore objects highlighted Scale 1:10,000

Ore bodies have a clear stratigraphic confinement to certain levels of the sedimentary section, often controlled by primary lithological heterogeneity and facies zonality. The bulk of the ores are localized in zones of alternating carbonate and terrigenous rocks, where favorable conditions are created by porosity, reactivity of rocks and the presence of fluid paths. Stratigraphically, mineralization mainly develops:

- in the lower part of the Devonian strata - among dolomites and siliceous limestones,

- in the middle part - among alternating shales and thin-banded carbonate rocks,

- at contacts with intrusions, where zones of regressive skarnization and iron redeposition are observed.

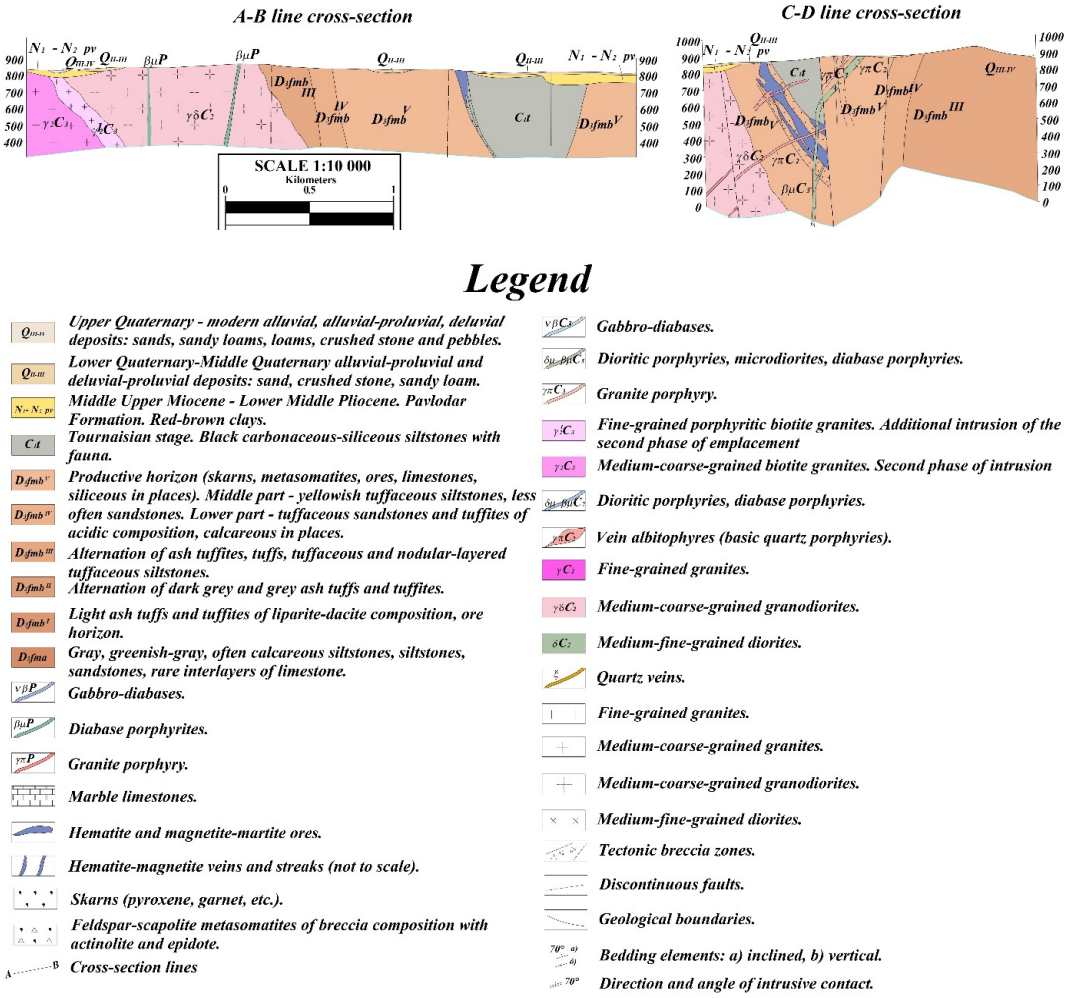


Fig.2 - Generalized stratigraphic section of the Kentobe-Togai area with the identification of ore-bearing horizons with conventional designations. Scale 1:10,000

The stratiform deposits of the region are characterized by a gently inclined orientation of the ore bodies, repeating the structure of the host rocks. In the most studied areas, an ore-bearing horizon with a thickness of 3 to 20 m can be traced, containing lenticular or sheet-like deposits of magnetite and martite ores. At the same time, a clear zonality is noted - from poor ores on the periphery to rich ones in the central parts of the bodies [6].

Oxidized zones are formed in the upper horizons, where the original magnetite ores are transformed into martite and hematite ores. Deeper in the section, primary magnetite ores predominate. These

changes illustrate the vertical zoning caused by the conditions of oxidation and hydrothermal redistribution of components. The lower horizons are sometimes characterized by a transition to skarnoids and more intense metasomatic changes. The features of the rhythm of sedimentation (fine interbedding), the presence of organic residues, porous textures and increased content of ferrous minerals in sedimentary strata - all this creates the prerequisites for sedimentary and hydrothermal-sedimentary genesis of ores, with subsequent contact-metamorphic re-formation.

Of particular interest is the comparison of the stratigraphic conditions of the Kentobe-Togai group with another well-studied object of Central Kazakhstan, the West Karazhal deposit, located within the Atasu iron ore zone. This deposit, like Kentobe, is confined to Upper Famennian deposits, represented by siliceous-carbonate and terrigenous-siliceous rocks. Here, clearly defined ore-bearing horizons are also traced, characterized by vertical zoning by ore type and degree of metasomatic transformation.

Below is a stratigraphic section of the Western Karazhal iron-manganese deposit (Fig.3), including alternation of limestones, siliceous and carbonate rocks with zones of iron and manganese saturation, demonstrates a similar structure and can be used as a regional stratigraphic analogue. Thus, the presence of stable stratigraphic levels prone to mineralization is confirmed for a number of deposits in Central Kazakhstan [7].

Thus, the stratigraphic confinement of ore bodies to Devonian and Lower Carboniferous deposits of siliceous-carbonate nature, the presence of vertical and lateral zoning zones, as well as the formational stability of ore-bearing horizons form the basis for forecasting new deposits. Stratigraphic control is a key factor in constructing geological models, verifying ore bodies and assessing resources.

Structural features. The tectonic structure of the Kentobe-Togai region is characterized by pronounced dislocation, a complex system of faults of various directions and genesis. The faults here form not only the tectonic framework, but also determine the spatial architecture of ore bodies, their morphology and localization.

The study area is characterized by a plurality of faults, both regional and local in scale. Active faults with various kinematic characteristics have been recorded in almost every area (Kentobe I, II, III, East Kentobe, Togay I–IV, Sarybulak): shear faults, normal faults, reverse faults, shear activation zones, and tectonic fragmentation zones. In addition to large faults, multiple local fractured zones and tectonic fragmentation zones have been recorded, which are found in borehole cores and near adits. Small lenticular bodies of martite and hematite, sometimes with clay regeneration, are often observed in these zones [8].

This multiplicity of faults leads to the formation of ore bodies that are heterogeneous in thickness and geometry; segmentation of deposits, when one body is broken up into several isolated lenses or stocks; duplication of bodies, especially in cases of parallel faults; the outcrop of ore bodies on the surface along fault zones (for example, Togay I–II); recrystallization of minerals in zones of maximum tectonic activity. In a number of areas, especially in Kentobe III and Togay IV, structures of the ”tectonic staircase” type are recorded - a series of parallel small faults that displace a sheet-like deposit down the steps. Under these conditions, ore bodies show a stepped morphology, and the mineralization zone is complicated by secondary dislocations [8].

Ore bodies are morphologically adapted to these structures. Their shape varies from sheet-like - with stable layering and the absence of intense tectonics, lens-shaped - with splitting in bending and compression zones, stock-like and columnar - under the influence of vertical structures, to chaotic and isometric — in zones of intense crushing and skarnoidization. Structural controllability is especially clearly traced in exocontact zones between granitoid intrusions and siliceous-carbonate strata. Here, faults form frames for fluid migration and zones of metasomatic enrichment in iron. It is often along these zones that magnetite and skarnoid bodies are traced, often in combination with garnet-epidote parageneses [9].

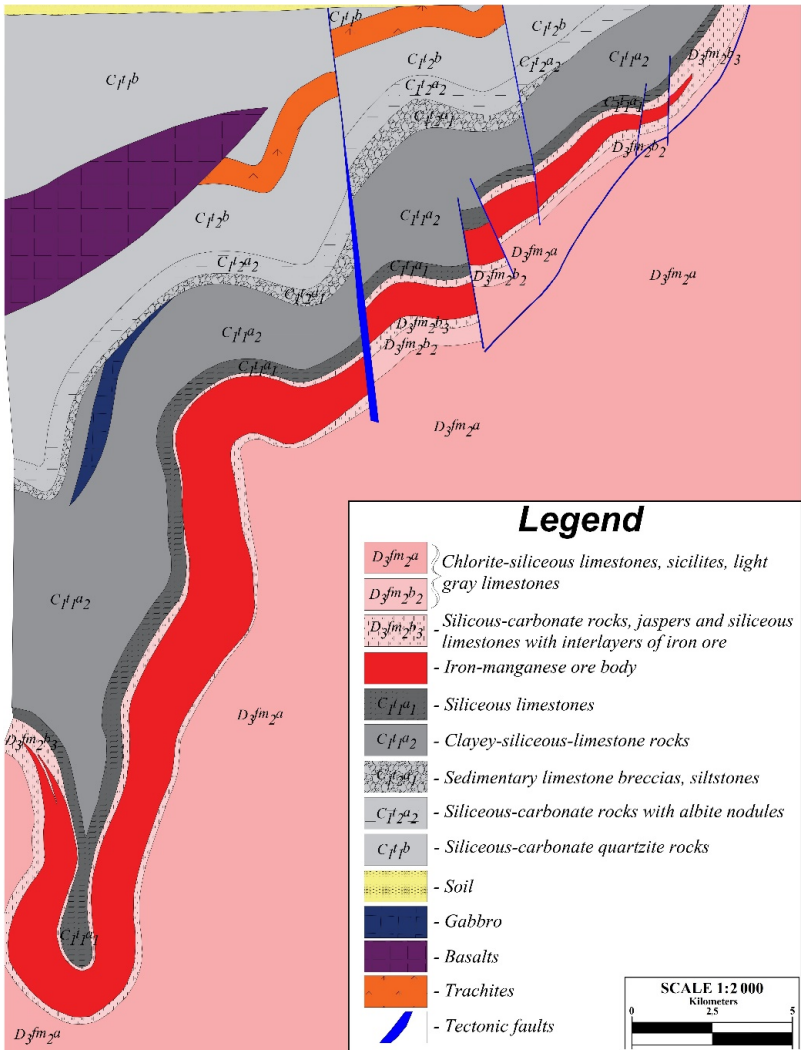


Fig.3 - Stratigraphic section of the Western Karazhal deposit (Ulytau region) with the allocation of ore bodies and tectonic faults. Scale 1:2,000

Fig.4 shows a spatial model reflecting the position of iron ore bodies (blue) and tectonic faults (red) in a southeast-northwest (SE–NW) projection. The model clearly demonstrates that the ore bodies are closely controlled by a system of sublatitudinal and diagonal faults, and in some cases their intersection and displacement are observed, which confirms the active role of structural disturbances in the formation of the morphology of the bodies. This picture corresponds to the concept of a “tectoni c staircase” previously described for the Kentobe III area.

Fig.5 illustrates the interaction of ore bodies (blue) with intrusive bodies (yellow), reflected as wireframes based on the 3D geomodel data. The view in the southwest-northeast (SW-NE) projection allows us to trace how exocontact zones of granitoid intrusion spatially coincide with zones of skarnoid and magnetite mineralization. This confirms the key role of intrusion contacts in the processes of iron enrichment and metasomatic transformation of host rocks. The presence of through intrusive bodies intruding at different levels illustrates the multi-stage nature of tectono-magmatic processes that accompanied ore formation.

The presented three-dimensional models not only visualize the complex spatial structure of the Kentobe deposit ore field, but also serve as a basis for further block modeling and the application of geostatistical interpolation methods, allowing for a quantitative assessment of reserves taking into

account the anisotropy and segmentation of ore bodies.

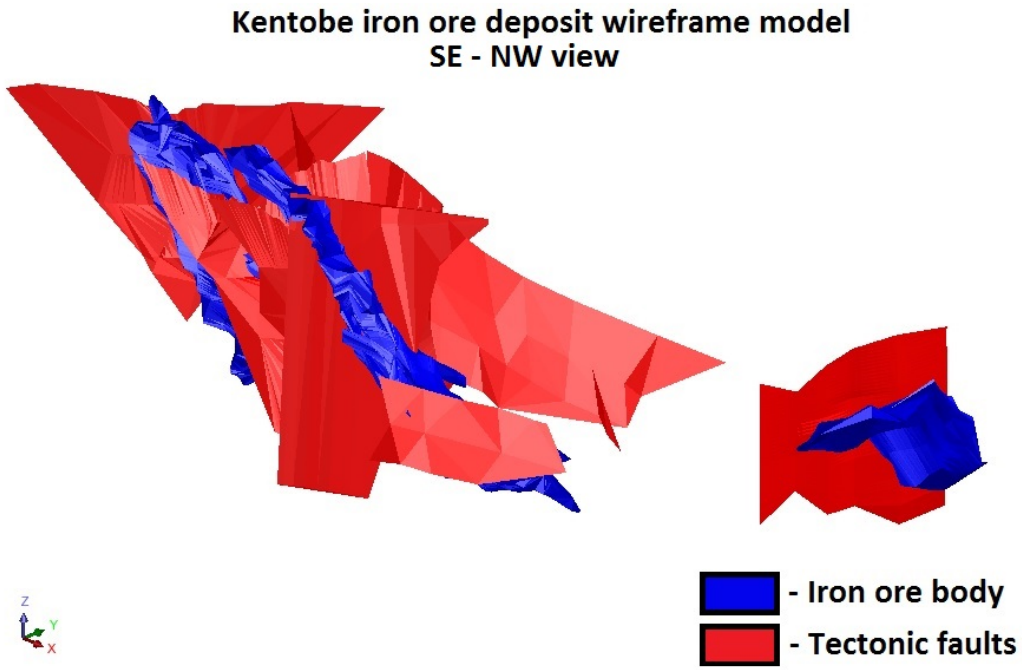


Fig.4 - 3D image of the main faults in the Kentobe (Surpac) field. SE – NW view

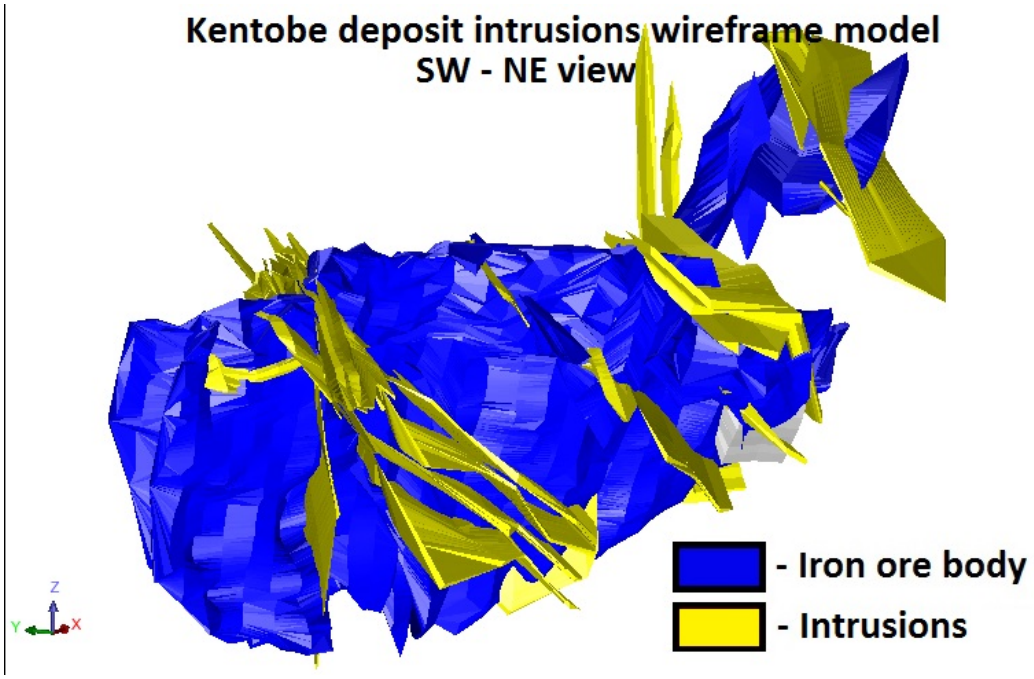


Fig.5 - 3D image of the main intrusions at the Kentobe (Surpac) deposit. SW – NE view

It should be noted that the use of digital methods of geological modeling in conditions of complex tectonics and stratigraphic heterogeneity is justified not only for iron ore deposits. Similar methods were

successfully used by the authors in modeling rare earth element deposits in Eastern Kazakhstan [10], which confirms their universality and applicability for geological objects of various genesis [10, 11].

Comparison of data for all areas of the Kentobe-Togay group allows dividing the region into structural tectonic blocks, each of which has its own system of bodies and structures. Thus, the multiplicity of faults and tectonic disturbances is a determining factor in the spatial distribution, shape and preservation of ore bodies within the siliceous-carbonate formations of Central Kazakhstan. Structural analysis must necessarily precede modeling and resource assessment, especially when constructing block models and selecting interpolation parameters.

The Kentobe-Togay group is a unique platform for constructing geological and block models in conditions of complex stratigraphy and active tectonics. The established confinement of ore bodies to stable stratigraphic horizons and fault zones allows the use of structural 3D interpretation methods (Figures 4, 5) [12, 13].

Results and discussions. The results of the conducted study of the stratigraphic and structural conditions of the iron ore deposits of the Kentobe-Togai group made it possible to form a complete geological and structural picture of the formation and spatial distribution of ore bodies within the siliceous-carbonate formation of Central Kazakhstan. It was established that ore formation in this zone is due to the combined effect of stratigraphic, lithological, tectonic and metasomatic factors, the interrelation of which forms local conditions of iron enrichment. The following key patterns were identified:

- the confinement of ore bodies to Upper Devonian and Lower Carboniferous alternating carbonate-siliceous deposits with high reactivity; the siliceous-carbonate formations of Central Kazakhstan have stable lithological and stratigraphic features favorable for the concentration of iron;

- the influence of contact metamorphism during the introduction of granitoid intrusions, leading to the formation of hornfels and skarnoid enrichment zones;

- the active role of tectonic faults, which form both fluid migration channels and structural traps and tectonic steps that duplicate and segment ore bodies;

- vertical mineralogical zoning, expressed in the replacement of primary magnetite ores by hematite and martite in oxidation zones, as well as the appearance of skarns and metasomatism zones in the deep parts;

- pronounced parametric heterogeneity of ore bodies: variability in thickness, discontinuity, stepped morphology.

These factors do not act in isolation - they combine to form unique geological systems where mineralization is systematically controlled by stratigraphy and structure. It is this type of deposit that requires a more in-depth approach to interpretation and modeling.

A comparison of the geological conditions of the Kentobe-Togay group with a well-studied industrial object, the Western Karazhal deposit, shows that the described patterns of stratigraphic and structural control of ore occurrences are typical for siliceous-carbonate formations of Central Kazakhstan as a whole. Thus, the results of this study can be used as a basis for developing a methodology for modeling and assessing the resources of stratiform and contact-metamorphosed iron ore deposits in similar geological settings [13, 14].

The use of modern digital technologies, including 3D block modeling, geostatistical methods for estimating grades (kriging, IDW, nearest neighbor method) and fault reconstruction, can significantly increase the reliability of resource estimates and reduce uncertainty with limited drilling density [13, 14].

Areas with the highest data density and better geological knowledge are especially promising for testing and developing such approaches. In these areas, it is possible not only to create more realistic geological and resource models, but also to develop various scenarios for interpolation and reserve assessment, which is critically important given the

limited drilling data and fragmentary geological information.

Conclusions. The comprehensive analysis of stratigraphic and structural features of the Kentobe–Togai group of iron ore deposits has shown that their formation is the result of a complex interplay of stratigraphic, lithological, tectonic, and metasomatic factors. The research established that ore bodies are consistently confined to Upper Devonian and Lower Carboniferous siliceous–carbonate sequences, whose lithological reactivity created favorable conditions for the concentration of iron. The processes of contact metamorphism, triggered by granitoid intrusions, played a decisive role in the formation of hornfels, skarn-like rocks, and localized iron enrichment zones. Tectonic structures proved to be a key controlling factor in ore localization and morphology. Fault systems not only determined the spatial architecture of the deposits but also provided migration channels for ore-forming fluids. As a result, ore bodies often display segmentation, duplication, and stepped morphologies typical of zones with high tectonic activity. Vertical mineralogical zoning was also documented, with primary magnetite ores giving way to hematite–martite assemblages in oxidation zones and to skarnoid enrichment in deeper levels. This multilevel structure highlights the dynamic nature of ore-forming processes.

A significant outcome of the study is the demonstration of parametric heterogeneity in ore bodies: their thickness, shape, and continuity vary considerably depending on stratigraphic position and structural control. Such heterogeneity requires the application of modern digital geological methods. Three-dimensional geological and structural modeling, block modeling, and geostatistical interpolation allow a more reliable reconstruction of deposit architecture, support resource assessment, and reduce uncertainties associated with limited exploration drilling.

Comparison with the Western Karazhal deposit confirmed that the identified patterns of stratigraphic confinement, tectonic control, and metasomatic transformation are not unique to Kentobe–Togai but represent general trends characteristic of siliceous–carbonate formations of Central Kazakhstan. Therefore, the results of this study can be used as a methodological basis for predicting, modeling, and assessing stratiform and contact-metamorphosed iron ore deposits in analogous geological settings.

In summary, the Kentobe–Togai group provides a natural model for understanding the interplay of stratigraphy, tectonics, and magmatism in the genesis of iron ore mineralization. The integration of field observations, structural analysis, and advanced 3D modeling confirms the universality of the identified patterns and emphasizes the necessity of applying such approaches in regional exploration and resource evaluation. These findings contribute not only to the expansion of the mineral resource base of Kazakhstan but also to the advancement of theoretical concepts of ore-forming systems in complex geodynamic environments.

Литература

1. Atakhanova Z., Azhibay S. Assessing economic sustainability of mining in Kazakhstan. // Mineral Economics. - 2023. - Vol.36. - P.719–731. DOI 10.1007/s13563-023-00387-x.

2. Борукаев Р.А. Материалы к металлогенической прогнозной карте Центрального Казахстана. Геология и рудные формации северо-востока Центрального Казахстана (листы М-43-А, М-43-Б, N-43-В). // Алма-Ата. -1956. - С.32-36.

3. Мазуров А.К. Металлогения океанических и континентальных палеорифтов Казахстана // Известия ТПУ. - 2002. № 6. - С.12-18.

4. Rakishev B.M. About the metallogeny of Kazakhstan and its significance for the forecast of mineral deposits. // Engineering Journal of Satbayev University.-2022. -Vol.144(4).- P.25-33. DOI 10.51301/ejsu.2022.i4.04.

5. Бабичев Е. А., Бахтеев М. К., Беляев О. Е. Геология и полезные ископаемые Центрального Казахстана//М.:Наука.-1977. - С.78-96.

6. Есенов Ш.Е., Ляпичев Г.Ф., Сидоренко А.В., Шлыгин Е.Д. Геология СССР. Том 20. Часть 1. Центральный Казахстан. Геологическое описание. Книга 1. //Москва, Недра.-1972 г.- С.212-220.

7. Абдулин А.А., Каюпов А.К., Ли В.Г., Ляпичев Г.Ф. Металлогения Казахстана. Рудные формации. Месторождения руд железа и марганца. // М.: Недра. -1982.- 207 с.

8. Школьник С.И. и др. Возраст рудовмещающих пород железо-марганцевых месторождений девона Центрального Казахстана // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. - 2021. - Т.497(1). - С.10-15. DOI: 10.31857/S1028334X21010207.

9. Авдеев А.В., Аксаментова Н.В., Альперович Е.В. и др. Стратиграфия нижнепалеозойских и силурийских отложений Центрального Казахстана // Ленинград, Недра. - 1965 г.- 146 с.

10. Маусимбаева А., Салех А.Гареб, Иссатаева Ф.,Аубакирова Г., Мадишева Р., Ким В., Тилеуберди Н. Инновации и цифровизация в горнодобывающем секторе Казахстана: проблемы и перспективы/ Энергия и окружающая среда.-2025.-Т.27:1407. DOI 10.30919/ee1407.

11. Spleit M., Dimitrakopoulos R. Modeling geological variability in the LabMag iron ore deposit and effects on the long-term production schedule // Mining Technology.- 2016.- Vol.126 (1). - P.44-58. DOI 10.1080/14749009.2016.1235247

12. 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). - P.131. DOI 10.3390/min15020131.

13. Rezaei A., Hassani H., Moarefvand P., Abbas Golmohammadi. Grade 3D Block Modeling and Reserve Estimation of the C-North Iron Skarn Ore Deposit, Sangan, NE Iran // Global Journal of Earth Science and Engineering. -2019. -Vol.6. - С.32-35. DOI 10.15377/2409-5710.2019.06.4

14. Кожухов А.А., Омельченко Д.Р., Мельниченко И.А., Ческидов В.В., Мосейкин В.В. Создание модели распределения полезного компонента в железорудном месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень.-2023.- №8. - С.5-17. DOI 10.25018/0236_1493_2023_8_0_5

References

1. Atakhanova Z., Azhibay S. Assessing economic sustainability of mining in Kazakhstan. // Mineral Economics. - 2023. - Vol.36. - P.719–731. DOI 10.1007/s13563-023-00387-x.

2. Borukaev R.A. Materialy k metallogenicheskoj prognoznoj karte Central’ nogo Kazahstana. Geologija i rudnye formacii severo-vostoka Central’ nogo Kazahstana (listy M-43-A, M-43-B, N-43-B). // Alma-Ata. -1956. -S.32-36.[in Russian]

3. Mazurov A.K. Metallogenija okeanicheskih i kontinental’ nyh paleoriftov Kazahstana // Izvestija TPU. - 2002. № 6. - S.12-18. [in Russian]

4. Rakishev B.M. About the metallogeny of Kazakhstan and its significance for the forecast of mineral deposits. // Engineering Journal of Satbayev University.-2022. -Vol.144(4).- P.25-33. DOI 10.51301/ejsu.2022.i4.04.

5. Babichev E. A., Bahteev M. K., Beljaev O. E. Geologija i poleznye iskopaemye Central’ nogo Kazahstana // M.:Nauka.-1977. - S. 78-96. [in Russian]

6. Esenov Sh.E., Ljapichev G.F., Sidorenko A.V., Shlygin E.D. Geologija SSSR. Tom 20. Chast’ 1. Central’ nyj Kazahstan. Geologicheskoe opisanie. Kniga 1.//Moskva, Nedra.-1972 g.- S. 212-220. [in Russian]

7. Abdulin A.A., Kajupov A.K., Li V.G., Ljapichev G.F. Metallogenija Kazahstana. Rudnye formacii. Mestorozhdenija rud zheleza i marganca. // M.: Nedra. -1982.- 207 s. .[in Russian]

8. Shkol' nik C.I. i dr. Vozrast rudovmeshhajushhih porod zhelezo-margancevyh mestorozhdenij devona Central' nogo Kazahstana // Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o Zemle. - 2021. - T.497(1). - C.10-15. DOI: 10.31857/S1028334X21010207. [in Russian]

9. Avdeev A.V., Aksamentova N.V., Al' perovich E.V. i dr. Stratigrafija nizhnepaleozojskih i silurijskih otlozhenij Central' nogo Kazahstana // Leningrad, Nedra. - 1965 g.- 146 s.

10. Mausimbaeva A., Saleh A.Gareb, Issataeva F.,Aubakirova G., Madisheva R., Kim V., Tileuberdi N. Innovacii i cifrovizacija v gornodobyvajushhem sektore Kazahstana: problemy i perspektivy/ Jenergija i okruzhajushhaja sreda.-2025.-T.27:1407. DOI 10.30919/ee1407.[in Russian]

11. Spleit M., Dimitrakopoulos R. Modeling geological variability in the LabMag iron ore deposit and effects on the long-term production schedule // Mining Technology.- 2016.- Vol.126 (1). - P.44-58. DOI 10.1080/14749009.2016.1235247

12. 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). - P.131. DOI 10.3390/min15020131.

13. Rezaei A., Hassani H., Moarefvand P., Abbas Golmohammadi. Grade 3D Block Modeling and Reserve Estimation of the C-North Iron Skarn Ore Deposit, Sangan, NE Iran // Global Journal of Earth Science and Engineering. -2019. -Vol.6. - C.32-35. DOI 10.15377/2409-5710.2019.06.4

14. Kozhuhov A.A., Omel' chenko D.R., Mel' nichenko I.A., Cheskidov V.V., Mosejkin V.V. Sozdanie modeli raspredelenija poleznogo komponenta v zhelezorudnom mestorozhdenii // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'.-2023.- №8. - S.5-17. DOI 10.25018/0236_1493_2023_8_0_5.[in Russian]

Information about authors

Kim V.O.- doctoral student, NJSC "Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov", Karaganda, Kazakhstan, e-mail: kim._v@mail.ru;

Cheskidov V. V.- Candidate of Engineering, Sciences, University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation, e-mail: vcheskidov@misis.ru;

Maussymbayeva A. D.- PhD, University of Illinois at Urbana Champaign, Champaign, USA, e-mail: maussymbayevaaliya@gmail.com;

Madisheva R. K. - PhD, Associate Professor, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: rimma_kz@mail.ru;

Issatayeva F. M.- PhD, associate professor, Abylkas Nenets Administrative District "Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov", Karaganda, Kazakhstan, e-mail: adambekova_farid@mail.ru;

Askarova N. S.- PhD, Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: srajadinnazym@mail.ru;

Imanbaeva S. B.- PhD, NJSC "Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov", Karaganda, Kazakhstan, e-mail: svetakaz77@mail.ru.

Сведения об авторах

Ким В.О.- докторант, НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан, e-mail: kim._v@mail.ru;

Ческидов В.В.- кандидат технических наук, НИТУ «МИСиС», Москва, Российская Федерация, e-mail: vcheskidov@misis.ru;

Маусымбаева А. Д.- PhD,университет Иллинойса в Урбана Шампейн, Шампейн, Иллинойс США, доктор философии, e-mail: maussymbayevaaliya@gmail.com;

Мадишева Р.К.- PhD, ассоциированный профессор, НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса

Сагинова», Караганда, Казахстан, e-mail: rimma_kz@mail.ru;

Исатаева Ф.М.- PhD, ассоциированный профессор, НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан, e-mail: adambekova_farid@mail.ru;

Аскарова Н.С. – PhD, НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, , Караганда, Казахстан, e-mail: srajadin-nazym@mail.ru;

Иманбаева С.Б.- PhD, НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан, E-mail: svetakaz77@mail.ru.

IRSTI 52.47.15 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-971**

PROBLEMS OF SAND MANIFESTATION IN THE FIELDS OF KAZAKHSTAN: METHODS AND SOLUTIONS

D.S. Saduakassov✉, A.G. Gusmanova, A.T. Zholbasarova, R.U. Bayamirova, A.R. Togasheva, M.T. Tabylganov, M.D. Sarbopeeva
Yessenov University, Aktau, Kazakhstan
✉*Corresponding author: danabek.saduakassov@yu.edu.kz*

Sand manifestation in oil and gas wells of Kazakhstan remains a pressing issue that significantly hinders their reliable and efficient operation. This article analyzes equipment failures occurring during well operation under conditions of high mechanical impurity content and proposes possible solutions. As the object of study, the causes of rod screw pump (RSP) failures at the Karazhanbas, North Buzachi, and Kumkol fields were examined. The results showed that the main cause of failures is sand manifestation, accounting for up to 51% of all cases. The article proposes a method to prevent the formation of sand plugs by creating a bottomhole sand collector at an optimal depth. Economic analysis demonstrated that this technology significantly reduces repair costs and extends the inter-repair period of well operation. The effectiveness of the proposed solution is confirmed by field data and detailed calculations.

Keywords: Sand manifestation, Oil and gas wells, Rod screw pumps, Downhole, Sand storage, Perforation holes.

ҚАЗАҚСТАН КЕН ОРЫНДАРЫНДАҒЫ ҚҰМНЫҢ БІЛІНУІ МӘСЕЛЕЛЕРІ: ӘДІСТЕРІ МЕН ШЕШІМДЕРІ

Д.С. Садуакасов✉, А.Г. Гусманова, А.Т. Жолбасарова, Р.У. Баямирова, А.Р.Тогашева, М.Т. Табылғанов, М.Д. Сарбопеева
Есенов университеті, Ақтау, Қазақстан,
e-mail: danabek.saduakassov@yu.edu.kz

Қазақстандағы мұнай-газ ұңғымаларында құмның білінуі олардың сенімді әрі тиімді жұмыс істеуіне айтарлықтай кедергі келтіретін өзекті мәселе болып отыр. Бұл мақалада механикалық қоспалардың жоғары мөлшерінде, ұңғымаларды пайдалану барысында туындайтын ақауларды талдау және оларды шешу жолдары қарастырылады. Зерттеу нысаны ретінде Қаражанбас, Солтүстік Бозащы және Құмкөл кен орындарындағы штангалы бұрандалы сорғылардың (ШБС) істен шығу себептері талданды. Нәтижелер бойынша, істен шығулардың негізгі себебі құмның білінуі екені анықталды, оның үлесі барлық жағдайлардың 51%-ына дейін жетеді. Мақалада құм тығындарының түзілуін болдырмау үшін ұңғы түбінде оңтайлы тереңдікте құм жинақтағыш қойма жасау әдісі ұсынылады. Экономикалық талдау көрсеткендей, бұл технология жөндеу жұмыстарының шығынын айтарлықтай азайтып, ұңғыманың жөндеу аралық кезеңін ұзартады. Ұсынылған шешімнің тиімділігі өндірістік деректермен және егжей-тегжейлі есептермен дәлелденген.

Түйін сөздер: Құмның білінуі, мұнай-газ ұңғымалары, штангалы бұрандалы сорғылар, ұңғы түбі, құм жинау қоймасы, перфорациялық тесіктер.

ПРОБЛЕМЫ ПЕСКОПРОЯВЛЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА: МЕТОДЫ И РЕШЕНИЯ

Д.С. Садуакасов✉, А.Г. Гусманова, А.Т. Жолбасарова, Р.У. Баямирова, А.Р.Тогашева, М.Т. Табылғанов, М.Д. Сарбопеева
Университет Есенова, г. Актау, Казахстан,
e-mail: danabek.saduakassov@yu.edu.kz

В нефтегазовых скважинах Казахстана пескопроявление остаётся актуальной проблемой, существенно препятствующей их надёжной и эффективной работе. В данной статье рассматриваются

анализ неисправностей, возникающих при эксплуатации скважин в условиях высокого содержания механических примесей, и пути их решения. В качестве объекта исследования проанализированы причины отказов штанговых винтовых насосов (ШВН) на месторождениях Каражанбас, Северные Бузачи и Кумколь. По результатам установлено, что основной причиной отказов является пескопроявление, доля которого достигает до 51% всех случаев. В статье предложен метод предотвращения образования песчаных пробок - создание забойного песконакопителя на оптимальной глубине. Экономический анализ показал, что данная технология существенно снижает затраты на ремонтные работы и увеличивает межремонтный период эксплуатации скважин. Эффективность предложенного решения подтверждена производственными данными и детальными расчётами.

Ключевые слова: Пескопроявление, нефтегазовые скважины, штанговые винтовые насосы, забой, накопитель песка, перфорационные отверстия.

Introduction. Ensuring stable oil and gas production remains a key priority, but the operation of downhole pumping equipment in mature fields is complicated by the high content of mechanical impurities in the produced fluid [1-3]. According to statistics, about 15-35% of the total section of the Karachaganak deposits are poorly cemented to sand [4].

According to the data obtained when analysing well products at Uzen, Karazhanbas, North Buzachi and other deposits, up to 65% of mechanical impurities are of reservoir origin, while only 8-12% of impurities are of surface origin. The urgency of the problem is confirmed by reports of major oil producing companies in Kazakhstan, which analyse failures of rod screw pumps (RSP) due to sand manifestation. Table 1 presents average data on the frequency of RSP failures due to sand manifestation in three deposits in Kazakhstan from 2019 to 2023. The data shows that deposits such as Kumkol, North Buzachi and Karazhanbas are particularly prone to this problem [5].

Table 1 - Failure statistics of rod screw pumps due to sand manifestation [5]

Deposit	Operator	Number of wells equipped with rod screw pumps, pcs	Share of refusals of rod screw pumps due to sand, %
Karazhanbas	Karazhanbasmunai JSC	1600	26
Northern Buzachi	Branch of Buzachi Operating Ltd.	900	51
Kumkol	PetroKazakhstan JSC	180	up to 40

During the study period for the North Buzachi field, the total number of production wells was 929, of which 871 used screw rod rod pumps (SRP) units, accounting for 94% of all wells. Over 200 problem wells have been identified in this field in the period from 2019 through 2023. The main causes of failures include the following factors (Figure 1): rod breakage, rod breakaway, pump and compressor pipes (tubing) leaks, failure of screw rod pumps (SRP), sand production, including rotor jamming, SRP connection pipe failure, violation of perforation interval sustainability, and other causes.

Research has shown that 94% of all failures can be attributed to four main categories: pump rod breakage, PCP leaks, sand production, and perforation interval bridging. Considering that failures include perforation interval bridging and screw pump failures caused by high mechanical impurity content, especially sand, three main causes

of downhole pumping equipment (DPE) failures can be identified (Figure 2).

Our research conducted at the North Buzachi field during 2019–2023, based on the analysis of operational data and failure reports of pumping equipment, showed that the main cause of failures is sand production, accounting for up to 51% of all cases.

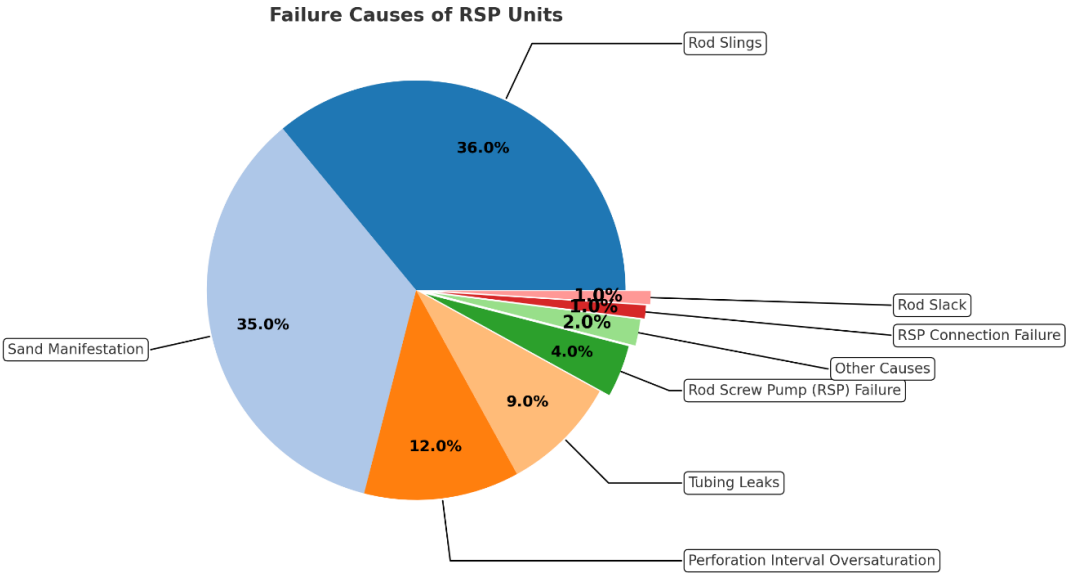


Fig.1 - Main causes of SRP unit failures at the North Buzachi field for the period 2019-2023

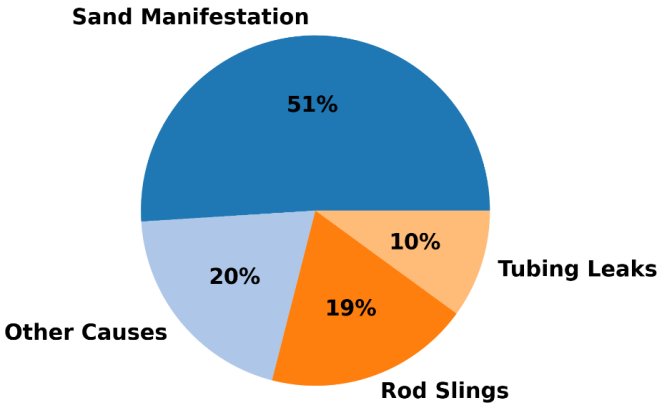


Fig.2 - Distribution of the causes of SRP unit failures related to sand production at the North Buzachi field for the period 2019-2023 [5]

Materials and methods. Our research applied specific methods to assess sand production and to test the proposed bottomhole sand collector technology. Field data from 2019–2023 were collected for three oilfields in Kazakhstan (Karazhanbas, North Buzachi, and Kumkol) comprising more than 2500 production wells equipped with progressive cavity pumps (PCPs). Failure logs, well flow rates, sand content in produced fluids, and inter-repair periods were systematically analyzed. Statistical methods were used to determine the proportion of failures caused by sand production, with 95% confidence intervals. Critical suspension rates for sand particles were calculated using a simplified Retinger–Ukhanov equation, calibrated to casing diameter, sand particle size, and density parameters. Economic analysis compared the additional costs of deepening wells by 50–150 m with the savings achieved from extended inter-repair periods and stabilized well productivity. Furthermore, pilot field trials were carried out at selected Karazhanbas wells, where a bottomhole sand collector of 60–70 m depth was created during workover operations. Monitoring included well flow rates, inter-repair periods, and sand content before and after technology implementation. All research was conducted in compliance with ethical principles, using only open or operator-approved production data without disclosure of confidential information.

Although numerous studies have addressed sand production in oil wells, many still lack long-term field validation and comprehensive economic

analysis. Research [6] conducted field tests of a hydrocyclone for sand removal in the conditions of South Oman. Their study was limited to specific conditions and lacked long-term analysis. For example, they found that to achieve more than 80% extraction for particles of 200 microns in size, the differential pressure must be at least 200 kPa, demonstrating the specificity of the conditions.

Work [7] describes the problem of sand production and the formation of sand plugs but does not offer specific solutions or conduct a detailed analysis of the causes. It focuses on describing the problem without presenting effective methods for combating sand production. Article [8] considers the application of a multi-directional nozzle for highly inclined wells, but their publication lacks economic analysis and long-term operational results, and it does not address the applicability of the technology in wells with different inclination angles. The authors [9] conduct laboratory studies, showing that sand production in poorly cemented formations increases the permeability of the productive formation. However, they do not provide data on the field application of their methods, which limits the applicability of their conclusions in real-world conditions.

Research [10] analyzes gravel filters, demonstrating their high efficiency in preventing sand production. However, their work lacks data on the impact of the filters on well productivity and potential issues with their installation and operation in various geological conditions. Author [11] proposes a method for removing mechanical impurities from horizontal wells containing heavy oil. Their research is limited to theoretical calculations without sufficient data on the practical application of these methods. The study analyzes the impact of sand on the operation of electric submersible pumps (ESP) in the development of the ”Salym Petroleum” field, providing mathematical models and laboratory data. However, their work does not sufficiently focus on field conditions and real operational data [12].

Thus, despite a significant amount of research and proposed methods for combating sand production and sand accumulation, most publications have several limitations. The lack of field data, limited applicability in various geological conditions, and insufficient economic analysis remain key issues. To achieve more effective solutions, a comprehensive approach is required, including detailed testing, economic analysis, and adaptation of technologies to different operating conditions. In the oil and gas industry, one of the main challenges in the extraction and operation of wells is the control of sand production [13, 14]. The geological formation in oil and gas fields often consists of one or more layers of sandy rocks with poorly cemented and loose structures. During operation, the wellbore can be easily damaged, leading to sand production, reduced development efficiency, and significant complications in extraction. Operation in complex mining and geological conditions leads to the destruction of the near-wellbore zone, reduced reservoir pressure, significant increases in the water cut of the produced fluids, and an increase in the amount of mechanical impurities.

To date, there are numerous methods for combating sand production, allowing their application in various geological conditions. Sand production remains one of the main problems, as it leads to substantial costs both economically and environmentally. In global practice, methods for controlling sand production are classified into two main groups: preventing sand production from the formation (technological method) and operating wells with sand production from the formation (technical method) [15, 16].

Regarding the prevention of sand accumulation and the formation of sand plugs in the perforation zone and inside the production casing, any method or device is very rarely mentioned in scientific, technical, and patent literature [17, 18]. In practice, only at high flow rates, when the velocity head of the upward fluid flow in the well is sufficient to lift sand particles, does sand accumulation and the formation of sand plugs not occur in the well. This generally corresponds to the flowing and gas lift periods of well operation. However, the decline in flow rates and the need to operate wells at low flow rates, up to 20 tons per day, becomes an objective

process that covers a small period of their operation, especially in the middle and late stages of field development.

Sand plugs form both in the perforation zone and in near-wellbore channels. A known method for preventing sand from entering the well involves creating an artificial filter from a permeable plugging material against the productive formation [19, 20]. The main drawback of these methods is the accumulation of sand in the filtration channels of the formation in the near-wellbore zone, which hinders the movement of oil into the well and reduces the well' s flow rate. As sand accumulation in the formation' s filtration channels gradually increases and they subsequently become silted, sand plugs form not inside the production casing but in the near-wellbore zone of the productive formation. The sand plugs seem to be transferred from the well to the near-wellbore zone. While sand plugs formed inside the well could be cleaned using known accessible methods, cleaning sand plugs formed in the near-wellbore zone of the formation, which have rather large radii, becomes a problem requiring even more effort, resources, and time.

From the perspective of achieving the maximum planned oil production rate and ensuring the longevity of well operation, the free removal of sand from the filtration channels of the formation is effective. Therefore, in practice, simple, low-energy methods are used to clean sand plugs formed inside the well [21-23]. At low flow velocity, sand accumulates in the perforation zone, restricting oil flow. As a result, sand plugs form within the perforation zone, reducing the well' s flow rate.

The intensity of sand accumulation in the perforation zone and the formation of sand plugs depends on the looseness of the productive formation rocks, pressure differential, and initial well flow rate. During high oil flow rates in the well' s flowing period, when the fluid velocity head is sufficient to lift sand particles in the well, a significant amount of sand is expelled from it. As the well' s flow rate gradually decreases, especially during its deep-pump operation period, sand accumulation in the perforation zone and the formation of sand plugs occur more intensively. The frequency of cleaning the perforation zone of the well from sand plugs increases, the well interrepair period decreases, and, most importantly, the well' s flow rate intensively decreases. For example, the well interrepair period for cleaning wells only from sand accumulations at the Karazhanbas field in the first half of 2020 averaged 30-45days. At the same time, there was a sharp decrease in oil flow rates in wells from 10-7 to 1-0.5 tons per day, and the work of cleaning sand plugs in wells is known to be labor-intensive, requiring significant effort and resources.

To prevent sand accumulation in the perforation zone, increase the well flow rate, and extend the well interrepair period for sand cleaning, we have developed a new technology. The essence of this new technology lies in creating a bottomhole sand collector of optimal depth and volume by deepening the well during major repairs to an optimal depth. This depth is determined based on minimizing the total costs of conducting repair work to clean the perforation zone from sand, increasing the well' s flow rate, and additional costs for deepening the well to the optimal depth.

It is known that, to ensure reliable isolation of the productive horizon, the installation of the production casing with overlap of the productive horizon, and the lowering of the perforator to the necessary depth in case of possible solid phase deposition of drilling slurry at the bottom during the well drilling process, the depth of the production well is planned to be 5-10 meters below the base of the productive horizon, forming a sump.

Given the actual depth of descent of the production casing, which is always less than the well' s design depth, the length of the shoe, and the height of the stop ring installation, the uncemented interval inside the production casing below the level of the bottom of the productive horizon remains no more than 1-2 meters, and in most cases, this interval is practically non-existent. Thus, in practice and in literary sources, no method is provided for deepening the well to create a bottomhole sand collector during well operation or during major repairs of producing wells. The existing so-called sump, without deepening it to an optimal depth,

cannot and does not perform the functions of a bottomhole sand collector in the operation of sand-manifesting wells.

The optimal height of the created bottomhole sand collector is determined by solving the equation:

$$\begin{cases} \Pi_{\text{р}}(h) + \Pi_{\text{д}}(h) + \Pi_{\text{к.р.}}(h) = \min\left\{\dfrac{d}{\text{d}h}\right\}, \\ \Pi_{\text{р}}(h) + \Pi_{\text{д}}(h) + \Pi_{\text{к.р.}}(h) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

where: *h* - the depth of the well during major repairs, equal to the height of the bottomhole sand collector, m; $П_p(h) = П_pC_p$ costs of repair work to clean the perforation zone from sand, tenge; *Cp* - the cost of one repair to clean the perforation zone from sand, tenge; $П_p$ - the number of repairs per year to clean the perforation zone from sand equal to $П_p=360/t_2$; $t_2=t_1/*h/l_n$ - the well interrepair period with a bottomhole sand collector, days; *l*п - actual perforation interval of the productive formation, meters, m; *t1* - the well interrepair period without a bottomhole sand collector, days; $П_g(h)=\Delta QE_{\text{Н}}$ - costs associated with the reduction in well flow rate due to sand accumulation in the perforation zone; Ен - cost of 1 ton of oil, tenge/m^3, *ΔQ* - annual reduction in well flow rate, equal ; qH , qK - daily well flow rates at the beginning and end of the well interrepair period, m^3 /day; Рк.р = h Суг - additional costs for deepening the well to a depth equal to the height of the bottomhole sand collector, h; $C_{уг}$ - the cost of deepening the well by 1 meter during major repairs of a production well, tenge/m.

By substituting the values of $П_p$, *Pg(h)*, and *ΔQ* into formula (1) and solving it, we obtain a formula for determining the optimal height of the bottomhole sand collector and the corresponding well deepening during major well repairs:

$$h_{\text{оп}} = 19\sqrt{\frac{l_{\text{п}}}{C_{\text{ут}}}\left(\frac{q_{\text{н}} - q_{\text{к}}}{2}\varepsilon_{\text{н}} + \frac{C_{\text{р}}}{t_1}\right)} \quad (2)$$

Calculations show that the costs of deepening the well by 50-150 meters during major repairs of production wells are offset by savings from extending the interrepair period and increasing the well' s oil flow rate. Figure 1 shows the locations of sand accumulation entering the well during the operation of production wells by existing methods without a bottomhole sand collector, and in figure 2 by the proposed method with a bottomhole sand collector.

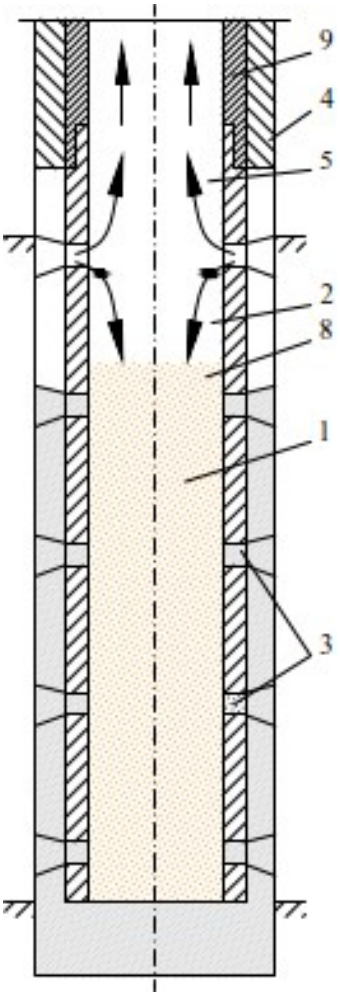


Fig.3 - Operation of production wells by existing methods without a bottomhole sand collector: ***1. Sand entering from the formation; 2. Perforation zone; 3. Perforation holes; 4. Productive formation; 5. Well; 6. Bottomhole sand collector; 7. Oil inflow; 8. Production casing; 9. Pump and compressor pipes (PCP)***

During the operation of a sand-manifesting well by the existing method without a bottomhole sand collector (Figure 3), the sand 1 entering the well from the formation accumulates in the perforation

zone 2 and clogs the perforation holes 3, thereby resisting the entry of oil from the productive formation 4 into the well 5. Initially, sand clogs the lower perforation holes, and then, with an increase in its amount, gradually clogs the upper perforation holes, leading to a sharp decrease in the well' s flow rate.

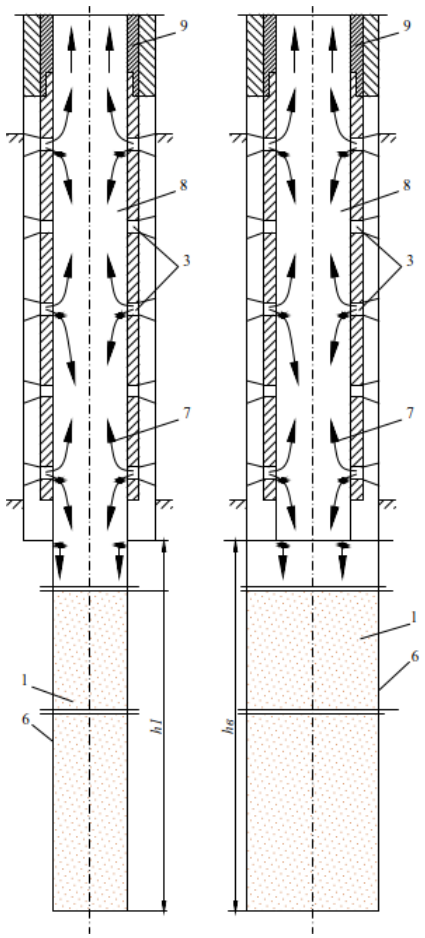


Fig.4 - Bottomhole sand collector:
1. Sand entering from the formation; 2. Perforation zone; 3. Perforation holes; 4. Productive formation; 5. Well; 6. Bottomhole sand collector; 7. Oil inflow; 8. Production casing; 9. Pump and compressor pipes (PCP)

During intensive sand-manifestation, sand accumulation can reach the intake zone of the deep pump, significantly resisting the oil lift in the well and causing wear on the deep pump parts. When operating the well by the proposed method (Figure 4), the sand 1 entering the well from the formation settles in the bottomhole sand collector 6 and does not obstruct the oil inflow 7 into the well, allowing the well' s flow rate to remain constant until the bottomhole sand collector is filled with sand.

It is evident that there is a critical well flow rate at which the sand entering the well with specified particle diameters remains in suspension in the upward flow. For example, with an internal diameter of the production casing of 148 mm and sand particle diameter of 2.0 mm, the critical well flow rate is 8-10 m³/day. If the well flow rate is less than the critical rate, the sand particles entering the well from the perforation holes with a diameter larger than the specified one will settle in the collector. If the well flow rate is greater than the critical rate, then the sand particles entering the well from the lower perforation holes will settle in the collector, while the sand particles entering the well from the upper perforation holes, due to the increased velocity head of the upward fluid flow, will rise up through the production casing 8 and the PCP 9. The sand entering the PCP, due to the increasing fluid flow velocity, will exit the well without forming sand plugs inside the PCP. When sand enters the deep pump operating zone, a zone of variable fluid velocities is created due to its intermittent operation, where sand accumulates, causing resistance to the upward fluid flow and wear on the pump parts.

By creating a bottomhole sand collector with a height of 64 meters, the number of repair works for cleaning the sand collector in the perforation zone is reduced by: h /lоп = 64/8 = 8 *times.* This increases the well interrepair period by 8 times. Importantly, during this period, the well will operate stably without a reduction in flow rate, as the sand entering the well will settle in the bottomhole collector, not obstructing the movement of oil in the perforation zone. When sand accumulates in the perforation zone, filling the bottomhole collector, it is cleaned using existing sand plug cleaning methods. With a sufficiently high bottomhole collector, the frequency of its cleaning from accumulated sand is no more than once every 2-3 years. Table 2 shows the optimal heights of the bottomhole sand collector for combinations of Δq = qп - qк ; 1 perf, t

Table 2 - Optimal Heights of the Bottomhole Sand Collector

t1 , days.	1перп . М	hоп , m Δq= qп – qк		
		3	6	9
30	5	38	47	55
	8	48	60	70
	16	67	84	99
60	5	33	44	52
	8	42	56	66
	16	60	78	93
120	5	31	42	51
	8	39	53	64
	16	56	75	91

To improve the efficiency of cleaning the bottomhole sand collector, a container can be used. This container is lowered into the sand collector, equipped with a grab head, and is extracted from the well after it is filled with sand.

To increase the volume and operational period of the bottomhole sand collector, in the absence of lower water-producing formations with pressures not exceeding hydrostatic pressure, the bottomhole sand collector is created with an expanded diameter compared to the diameter of the production casing. This can be achieved using existing wellbore enlargement methods, such as hydromonitor expanders.

The bottomhole sand collector for the operation of a sand-manifesting well can be created during the well drilling process. In this case, it is necessary to reliably establish the possibility of sand manifestation in the well during its operation, based on the example of neighboring production wells with similar sand-manifesting formations. Operating an oil and gas well using the proposed method with a bottomhole sand collector not only extends the well' s interrepair period but also improves the performance of the deep pump. A well with a bottomhole collector will maintain a constant flow rate until the collector is filled with sand. The greater the height and volume of the collector, the longer the interrepair period for cleaning sand plugs will be.

Below, Table 3 presents the critical values of the well flow rate determined using the simplified Retinger-Ukhanov formula:

$$q_{кр} = 6.3 \cdot 10^3 \, d_в^2 \sqrt{g d_п \left(\frac{\rho_п}{\rho_ж} - 1 \right)} \qquad (3)$$

where: dB - internal diameter of the production casing, m; ρп and ρж densities of sand particles and fluid, g/cm^3; g=10 - acceleration of gravity, m/sec^2;dп - diameter of sand particles, m;

The analysis of the table shows that the critical flow rate ($q_{кр}$) increases with the growth of the well diameter and the density of rocks. At a well diameter of 120 mm, the critical flow rate varies from 4 to 21 m³/day; at a diameter of 126 mm, it varies from 4 to 22 m³/day; and at a diameter of 148 mm, it varies from 6 to 31 m³/day. Increasing the diameter of sand particles also contributes to the growth of the critical flow rate. These data are important for preventing sand-manifestation problems during well operation. Table 4 presents the pressure drop across the purifier attachments at different attachment diameters, the flow rate of the washing fluid (water), and the velocity of the hydromonitor jet outflow from the attachments.

Table 3 - Critical values of well flow rate qкр

Dв 10^{-} m^3	**ρп g/cm^3**	**qкр , m /day3**				
		dn , mm				
		0,1	0,5	1	1,5	2
120	2,0	4	9	12	15	18
	2,4	5	10	14	18	21
126	2,0	4	10	13	17	19
	2,4	5	11	16	19	22
148	2,0	6	13	19	23	27
	2,4	7	15	22	27	31

Table 4 - Pressure drop across the purifier attachments at different attachment diameters, the flow rate of the washing fluid (water), and the velocity of the hydromonitor jet outflow from the attachments

Diameter of the hydromonitor attachment, mm.	**Total area attachment mm2**	**Flushing fluid flow rate l/s**	**Fluid flow rate from attachment m/s**	**Differential pressures on attachment Mpa**
10x10	157	18	115	7,3
		19	121	8
		20	127	8,8
11x11	191	22	115	7,3
		23	121	8
		25	131	9,4
12x12	226	25	111	6,8
		28	124	8,3
		30	133	9,7
13x13	265,5	30	113	7
		33	124	8,3
		35	132	9,6
14x14	308	35	114	7,2

Analysis of Table 4 shows that as nozzle diameter and flushing fluid flow rate increase, the fluid flow rate and pressure drop across the nozzles increase. These data are important for optimization of cleaning processes and effective control of pressure drop in flushing systems.

Results and discussion. At Karazhanbas field, productive formations lie at a depth of 300-350 m, production columns have diameters of 168, 146, 139 mm with thicknesses of 6-8 mm.

The wells are operated by deep pumping with cemented filters with perforated filtration hole diameters of 8-12 mm, well filtration interval is 8-5 meters. Average initial oil flow rate of the well is 10-7 tons/day. Most of the wells are sand penetrating wells. Intensive sanding occurs in the first 3-4 years, and then the intensity decreases. Reduction of oil flow rate in wells occurs from 10-7 tons/day to 1.5-0.5 tons/day during 45-60 days of time. The main cause of oil flow rate reduction is sand accumulation in the filtration interval inside the filter and production casing, in the intake of the depth pump, filtration holes and channels of the wellbore zone, which impedes the flow of oil into the well from the reservoir and causes wear of pump and equipment parts.

The well is repaired every 1.5-2 months by hydromechanical methods, only the internal cavity of the filter and production string. There are many wells in the field that need to be repaired to clean out sand accumulations.

The proposed technology makes it possible to significantly increase the inter-repair period (IRP) of wells affected by sand accumulations, thereby stabilizing and in many cases increasing the oil flow rate, and reducing overall costs for pilot testing and implementation, including workover operations. The technology consists of creating a bottomhole sand collector by deepening the well by 60-70 m during workover, followed by hydromonitor cleaning of the perforation interval. The process includes preparatory work, lowering of drilling tools with a bit and UBT-36m assembly to clean the bottomhole and form the sand collector, and subsequent well flushing for at least 0.5 hours. In the presence of weakly cemented rocks, the diameter of the collector is enlarged by hydraulic reamers. A cleaner with hydromonitor nozzles is then run into the well on tubing or drill pipes and moved slowly along the perforation interval with a water flow rate of 18–20 l/s. Sand removal is monitored throughout the process, and cleaning stops only after the sand completely exits the well. The cleaner is lifted, and the well is then returned to production. Comparative analysis of oil flow rates before and after the application of the technology is carried out to evaluate efficiency. The technology will pay off due to profit from increased oil production and reduced number of workovers in the first half of the year of application of the proposed method on only one well.

The preliminary economic effect of the proposed method, coming per well per year, can be determined by the following calculation formula:

$$Э_1 = 360\left[\frac{q_н - q_к}{2}\left(1 - \frac{K_{об}}{100}\right)E_н + \frac{C_р}{t_1}\left(1 - \frac{l_п}{h_{оп}}\right)\right] - h_{оп}\cdot C_{уг}\,; \quad (4)$$

where: Коб - water cut factor of the well, %.

In the case of well workovers, in order to create a bottom-hole sand accumulator, the cost of the entire well workover can be taken as an additional cost hoп Cy.

The resulting economic effect attributable to one well per year, 5.9 times more than the additional costs of deepening the well, equal to only 682 thousand tenge. With an increase in the number of wells working with downhole sand accumulator with cleaning of filtration holes at least to 100, the total economic effect will be equal to 40.9 million tenge, which shows how profitable the application of the proposed technology in the operation of producing wells.

Sequence of works according to the proposed technology:

- Preparatory work: provide the crews with necessary materials, tools, including hydromonitor cleaner made according to the working drawings submitted by the Institute; instruct the workover crew on the application of new technology.

- Launching of drilling tools into the well with the assembly: bit, UBT-36m, tubing or drill pipes for cleaning the bottomhole from the junk and drilling of the bottomhole sand accumulator with the depth of 60-70 m, by rotary method. Well flushing at least 0.5 hours, and lifting of drilling tools from the wells.

In the presence of soft weakly cemented rocks of the borehole walls in the interval of well deepening, the diameter of the accumulator is expanded by hydraulic reamers. In this case, the depth of the sand accumulator is selected according to [25, 26]

- Run downhole tool with assembly, cleaner with hydromonitor nozzles, drill pipe or tubing to the filtration interval. Conduct well flushing with very slow rotation and progressive movement of the cleaner from top to bottom along the filtration interval, with water flow rate of 18-20 l/sec.

- Conduct observation of the sand exit from the well while the cleaner is moving along the filtration interval, record changes in the intensity of their sand exit from the well.

- Stop cleaning of filtration holes with hydromonitor water jets only when the sand comes out of the wells. Lift the cleaner out of the well.

- Proceed to well operation with inducing oil flow from the reservoir to the wells.

To record changes in oil flow rate of a well under steady production mode. Perform comparative analysis of changes in oil flow rate in the well before and after the introduction of new technology and calculation of economic efficiency according to actual data.

All operations on application of new technology are performed under direct engineering control of responsible representatives of the contractor and the customer.

Conclusion. Analysis of operational data from the Karazhanbas, North Buzachi, and Kumkol fields (2019-2023) revealed that sand occurrence is the main cause of equipment failures, with rod screw pump (RSP) failures reaching 26% at Karazhanbas, 40% at Kumkol, and 51% at North Buzachi. In many wells, the inter-repair period (IRP) was reduced to 30–45 days, and oil production rates dropped from 10–7 tons/day to 1.0–0.5 tons/day due to sand plug formation.

Pilot tests of the proposed downhole sand collector technology at Karazhanbas demonstrated that forming a collector of 60–70 m depth increased the IRP by 6–8 times, reducing the frequency of cleanings from once every 1–1.5 months to once every 2–3 years. Well productivity was stabilized at the level of 7–8 tons/day, without sharp declines during the inter-repair cycle.

The downhole sand collector technology proved effective in extending the inter-repair period and stabilizing well productivity, as demonstrated by pilot trials at the Karazhanbas field. Economic evaluation showed that deepening wells by 50–150 m resulted in additional costs of only 682 thousand tenge per well per year, while the economic benefit from increased oil production and reduced workovers reached 5.9 times this amount. Scaling the technology to at least 100 wells would yield a total annual economic effect of about 40.9 million tenge, confirming its profitability.

Thus, the downhole sand collector has proven to be a practical and cost-effective solution for mitigating sand production in Kazakhstani oilfields. It allows for longer well operating cycles, reduced repair costs, and stable oil output. Future research should address adaptation to other geological conditions and assess long-term performance under varying operating regimes.

Литература

1. Шмидт А.А. Повышение эффективности эксплуатации скважин осложненных содержанием мех-примесей в продукции: автореф. дис. канд. техн. Наук/ Уфа. - 2007. -107 с.

2. Круглов С. В. Разработка технологии механизированной насосной эксплуатации обводненных газовых скважин: автореф. дис. канд. техн. Наук / Москва. - 2024. - 133 с.

3. Тимашев Э. О., Уразаков К. Р., Латыпов Б. М. Стенд для исследования эластомера статора винтового насоса //Нефтегазовое дело. - 2019. -Т.17(1). - С.85-90. DOI 10.17122/ngdelo-2019-1-85-90.

4. Боранбаев К. Х., Боранбаев А. К. Нефтегазоносные комплексы доюрских отложений Южного

Мангистау и их характеристика //Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. - 2022.- Т.4(3).- С.3-9. DOI 10.54859/kjogi108579.

5. Мырзахметов Б. А. и др. Противопесочные клапаны для защиты скважинного насосного оборудования в условиях высокого пескопроявления //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). -2020.- №12. - С.125-136. DOI 10.25018/0236-1493-2020-12-0-125-136.

6. Hagemeijer P. M., Jagernath S. Hydrocyclone field tests for removal of sand from production wells in South Oman //Journal of Canadian Petroleum Technology.- 2003.-Vol.42(06). DOI 10.2118/03-06-03.

7. Namig I. PAHTEI-Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions//Hal. - 2023.- Vol.28(05) - P.2674-5224. DOI 10.36962/PAHTEI28052023.

8. Elwan M., Mousa H., Shahin E., Elshiekh M., Wahib O., Mansour M. Application of Multi-Oriented Nozzle for Clean Out Sand Fill in Highly Deviated Well had Succeed to Unlock Oil Reserve in Hpht Oil Well //SPE Gas & Oil Technology Showcase and Conference. - 2024. DOI 10.2118/219267-MS.

9. Tananykhin D., Tcvetkov P., Kamoza V. Analysis and recommendations of sand consolidation methods to limit sand production in gas wells //Journal of Physics: Conference Series. -2018. - Vol.1072(1). P. 012022. DOI 10.1088/1742-6596/1072/1/012022.

10. Saveleva N. N., Shed S. N., Savelev Y. V. Gravel padding filters for combating sandblasting in wells //E3S Web of Conferences - 2023. -Vol.460: 09017. DOI 10.1051/e3sconf/202346009017

11. Dengaev A., Shishulin V., Drozdov I., Novikova A., Eremenko O., Safiullina E., Vakhin A. V. Mechanical Impurities Carry-Over from Horizontal Heavy Oil Production Well //Processes. - 2023.- Vol.11(10). - P.2932. DOI 10.3390/pr11102932.

12. Shamkov A., Gorlov A. Sand Influence Analysis on ESP Operation in Salym Petroleum Development. Effective Methods and Procedures for Sand Protection //SPE Russian Petroleum Technology Conference. - 2019. - Paper Number: SPE-196821-MS. DOI 10.2118/196821-MS

13. Klimov D. S., Ostapchuk S. S., Zakirov E. S. Review of Studies on Plugging Compositions Creation with Controlled Rheological Properties and the Ability to Restore Fluidity for Completion, Workover and Abandonment of Oil and Gas Wells // SOCAR Proceedings. - 2021.- Vol. 2. -P.028-046. DOI 10.5510/OGP2021SI200546

14. Ихсанов К. А., Каримова А. А., Избасаров О. М., Алиев Н. М Ұңғымадан ілеспе құмды шығару жылда //Endless light in science.-2024.-Т.2(2). - С.379-383.

15. Султанов Б. З., Орекешев С. С. Вопросы выноса песка в процессе эксплуатации нефтяных скважин //Нефтегазовое дело.- 2005. - № 1. - С. 2-13

16. Netzhanova A., Bae W., Arystanbay R. A case study on optimization of PCP operations for production increase in an unconsolidated sandstone reservoir //SPE Annual Caspian Technical Conference.- 2014. - P SPE-172285-MS. DOI 10.2118/172285-MS.

17. Кустышев А. В., Дубровский Н. Д. Способ промывки песчаной пробки в газовой скважине в условиях низких пластовых давлений/Патент РФ 2341644. – 2007.

18. Кольцов Е. В., Муляк В. В., Чертенков М. В., Коноплев Ю. П., Чикишев Г. Ф., Герасимов И. В., Цгоев К. Н. Способ борьбы с пескопроявлением в скважине. Патент РФ 2410528. - 2009.

19. Modeland N. J. Method of well completion. Patent USA 10544663. – 2020.

20. Мамаджанов Э. У. Изучение причин осложнений на различных этапах строительства и эксплуатации скважин и меры по их предупреждению в условиях горно-геологических разрезов Узбекистана //Инновации в нефтегазовой отрасли.- 2021.-Т.2(3).- С.30.- 34 DOI 10.5281/zenodo.5804433.

21. Долгов А. В., Долгов С. В., Комарницкий М. М. Устройство для очистки скважины. Патент РФ 2752963. – 2021.

22. Матвеев А.П. Способ очистки скважины от песчаной пробки и гидромониторная насадка для его осуществления. Патент РФ 2715003. – 2020.

23. Верисокин А. Е., Жулина Л. Г. Новый метод снижения обратного выноса проппанта из трещины в скважину после проведения гидроразрыва пласта //Актуальные проблемы нефти и газа.- 2019. - №.4 (27).- С.1-5. DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2019-27.art17.

References

1. Shmidt A.A. Povyshenie jeffektivnosti jekspluatacii skvazhin oslozhnennyh soderzhaniem mehprimesej v produkcii: avtoref. dis. kand. tehn. nauk. Ufa.- 2007. -107 s. [in Russian]

2. Kruglov S. V. Razrabotka tehnologii mehanizirovannoj nasosnoj jekspluatacii obvodnennyh gazovyh skvazhin: avtoref. dis. kand. tehn. nauk. Moskva. - 2024.- 133 s.). [in Russian]

3. Timashev Je. O., Urazakov K. R., Latypov B. M. Stend dlja issledovanija jelastomera statora vintovogo nasosa //Neftegazovoe delo.- 2019. -T.17(1). - S.85-90. DOI 10.17122/ngdelo-2019-1-85-90. [in Russian]

4. Boranbaev K. H., Boranbaev A. K. Neftegazonosnye kompleksy dojurskih otlozhenij Juzhnogo Mangistau i ih harakteristika //Vestnik neftegazovoj otrasli Kazahstana. - 2022.- T.4(3).- S.3-9. DOI 10.54859/kjogi108579. [in Russian]

5. Myrzahmetov B. A. i dr. Protivopesochnye klapany dlja zashhity skvazhinnogo nasosnogo oborudovanija v uslovijah vysokogo peskoprojavlenija //Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal).-2020.- №12- S.125-136. DOI 10.25018/0236-1493-2020-12-0-125-136. [in Russian]

6. Hagemeijer P. M., Jagernath S. Hydrocyclone field tests for removal of sand from production wells in South Oman //Journal of Canadian Petroleum Technology.- 2003.-Vol.42(06). DOI 10.2118/03-06-03.

7. Namig I. PAHTEI-Proceedings of Azerbaijan High Technical Educational Institutions//Hal. - 2023.- Vol.28(05) - P.2674-5224. DOI 10.36962/PAHTEI28052023.

8. Elwan M., Mousa H., Shahin E., Elshiekh M., Wahib O., Mansour M. Application of Multi-Oriented Nozzle for Clean Out Sand Fill in Highly Deviated Well had Succeed to Unlock Oil Reserve in Hpht Oil Well //SPE Gas & Oil Technology Showcase and Conference. - 2024. DOI 10.2118/219267-MS.

9. Tananykhin D., Tcvetkov P., Kamoza V. Analysis and recommendations of sand consolidation methods to limit sand production in gas wells //Journal of Physics: Conference Series. -2018. - Vol.1072(1). - P. 012022. DOI 10.1088/1742-6596/1072/1/012022.

10. Saveleva N. N., Shed S. N., Savelev Y. V. Gravel padding filters for combating sandblasting in wells //E3S Web of Conferences - 2023. -Vol.460: 09017. DOI 10.1051/e3sconf/202346009017

11. Dengaev A., Shishulin V., Drozdov I., Novikova A., Eremenko O., Safiullina E., Vakhin A. V. Mechanical Impurities Carry-Over from Horizontal Heavy Oil Production Well //Processes. - 2023.- Vol.11(10).- P.2932. DOI 10.3390/pr11102932.

12. Shamkov A., Gorlov A. Sand Influence Analysis on ESP Operation in Salym Petroleum Development. Effective Methods and Procedures for Sand Protection //SPE Russian Petroleum Technology Conference. - 2019. DOI 10.2118/196821-MS.

13. Klimov D. S., Ostapchuk S. S., Zakirov E. S. Review of Studies on Plugging Compositions Creation with Controlled Rheological Properties and the Ability to Restore Fluidity for Completion, Workover

and Abandonment of Oil and Gas Wells // SOCAR Proceedings. - 2021.- Vol. 2. -P.028-046. DOI 10.5510/OGP2021SI200546.

14. Ihsanov K. A., Karimova A. A., Izbasarov O. M., Aliev N. M Ұңғymadan ilespe құmdy shyғaru zhylda //Endless light in science.-2024.-T.2(2). - S.379-383. [in Russian]

15. Sultanov B. Z., Orekeshev S. S. Voprosy vynosa peska v processe jekspluatacii neftjanyh skvazhin //Neftegazovoe delo.- 2005. - № 1. - S. 2-13. [in Russian]

16. Netzhanova A., Bae W., Arystanbay R. A case study on optimization of PCP operations for production increase in an unconsolidated sandstone reservoir //SPE Annual Caspian Technical Conference.- 2014. - P SPE-172285-MS. DOI 10.2118/172285-MS.

17. Kustyshev A. V., Dubrovskij N. D. Sposob promyvki peschanoj probki v gazovoj skvazhine v uslovijah nizkih plastovyh davlenij. Patent RF 2341644. – 2007. [in Russian]

18. Kol’ cov E. V., Muljak V. V., Chertenkov M. V., Konoplev Ju. P., Chikishev G. F., Gerasimov I. V., Cgoev K. N. Sposob bor’ by s peskoprojavleniem v skvazhine. Patent RF 2410528. – 2009. [in Russian]

19. Modeland N. J. Method of well completion. Patent USA 10544663. - 2020.

20. Mamadzhanov Je. U. Izuchenie prichin oslozhnenij na razlichnyh jetapah stroitel’ stva i jekspluatacii skvazhin i mery po ih preduprezhdeniju v uslovijah gorno-geologicheskih razrezov Uzbekistana //Innovacii v neftegazovoj otrasli.- 2021.-T.2(3).-S.30-34. DOI 10.5281/zenodo.5804433. [in Russian]

21. Dolgov A. V., Dolgov S. V., Komarnickij M. M. (2021). Ustrojstvo dlja ochistki skvazhiny. Patent RF 2752963. [in Russian]

22. Matveev A.P. Sposob ochistki skvazhiny ot peschanoj probki i gidromonitornaja nasadka dlja ego osushhestvlenija. Patent RF 2715003.- 2020. [in Russian]

23. Verisokin A. E., Zhulina L. G. Novyj metod snizhenija obratnogo vynosa proppanta iz treshhiny v skvazhinu posle provedenija gidrorazryva plasta //Aktual’ nye problemy nefti i gaza.- 2019. - №.4 (27).- S.1-5. DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2019-27.art17. [in Russian]

Information about the authors

Saduakasov D.S.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Petrochemical Engineering, Yessenov University, Kazakhstan, Aktay, e-mail: danabek.saduakassov@yu.edu.kz;

Gusmanova A.G.- Candidate of Technical Sciences, Dean of the Faculty of Engineering, Yessenov University, Kazakhstan, Aktay, e-mail: aigul.gusmanova@yu.edu.kz;

Zholbassarova A.T.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Petrochemical Engineering, Yessenov University, Kazakhstan, Aktay, e-mail: akshyryn.zholbassarova@yu.edu.kz;

Bayamirova R.U.-Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Petrochemical Engineering, Yessenov University, Kazakhstan, Aktay, e-mail: ryskol.bayamirova@yu.edu.kz;

Togasheva A.R.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Petrochemical Engineering, Yessenov University, Kazakhstan, Aktay, e-mail: aliya.togasheva@yu.edu.kz;

Tabylganov M.T.- Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Petrochemical Engineering, Yessenov University, Kazakhstan, Aktay, e-mail: maxat.tabylganov@yu.edu.kz;

Sarbopeeva M.D.-PhD - Associate Professor, Department of Petrochemical Engineering, Yessenov University, Kazakhstan, Aktay, e-mail: manshuk.sarbopeyeva@yu.edu.kz.

Сведения об авторах

Садуакасов Д.С.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры Нефтехимический инжиниринг Университета Есенова, Казахстан, Актау, e-mail: danabek.saduakassov@yu.edu.kz;

Гусманова А.Г.- кандидат технических наук, декан факультета Инжиниринг Университета Есенова, Казахстан, Актау, e-mail: aigul.gusmanova@yu.edu.kz;

Жолбасарова А.Е.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры Нефтехимический инжиниринг Университета Есенова, Казахстан, Актау, e-mail: akshyryn.zholbassarova@yu.edu.kz;

Баямирова Р.У.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры Нефтехимический инжиниринг Университета Есенова, Казахстан, Актау, e-mail: ryskol.bayamirova@yu.edu.kz;

Тогашева А.Р.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры Нефтехимический инжиниринг Университета Есенова, Казахстан, Актау, e-mail: aliya.togasheva@yu.edu.kz;

Табылганов М.Т.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры Нефтехимический инжиниринг Университета Есенова, Казахстан, Актау, e-mail: maxat.tabylganov@yu.edu.kz;

Сарбопеева М.Д.- PhD, ассоциированный профессор кафедры Нефтехимический инжиниринг Университета Есенова, Казахстан, Актау, e-mail: manshuk.sarbopeyeva@yu.edu.kz.

IRSTI 52.45.94 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1108**

IMPACT OF «ALUMINUM PRODUCTION» ON THE ENVIRONMENT AND WAYS TO SOLVE IT

[1]K. Massenov, [1]B. Abenov, [2]L. Akbayeva, [3]Y. Pangaliyev✉, [4]N. Mamytova

[1]NJSC «International Green Technologies and Investment Projects Center», Astana, Kazakhstan,
[2]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[3]Caspian University of Technology and Engineering named after Sh.Yessenov, Aktau, Kazakhstan,
[4]K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan
✉*Corresponding author: erbolpm@mail.ru*

A comprehensive analysis was carried out on the main harmful components generated throughout the full technological cycle of aluminum production, which is a unique industry in Kazakhstan. The study included an assessment of pollutant emissions into the environment at various stages of the production process. In addition, a detailed review of modern methods and innovative technologies aimed at minimizing hazardous emissions and reducing the overall environmental impact of aluminum production was conducted.

The results of the study indicate that there is significant potential for reducing air pollutant emissions. For example, dust emissions can be reduced from 9010 mg/Nm³ to 50 mg/m³, while sulfur dioxide emissions can be lowered from 3378 mg/Nm³ to a range of 150–200 mg/m³. Similar reductions can also be achieved for other harmful components. These findings highlight the importance of implementing advanced environmental protection strategies that not only improve air quality but also promote the sustainable development of the aluminum industry by aligning production processes with modern environmental standards.

Keywords: aluminium, bauxite, alumina, electrolysis, electrolyte, alkali, aluminium electrolysis, best available techniques, hybrid bag filter.

«АЛЮМИНИЙ ӨНДІРІСІНІҢ» ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ӘСЕРІ ЖӘНЕ ОНЫ ШЕШУ ЖОЛДАРЫ

[1]К.Б. Масенов, [1]Б.Б. Абенов, [2]Л.Х. Акбаева, [3]Е.М. Панғалиев✉, [4]Н.С. Мамытова

[1]«Халықаралық жасыл технологиялар және инвестициялық жобалар орталығы» КЕАҚ, Астана, Қазақстан,
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[3]Ш.Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инжиниринг университеті, Ақтау, Қазақстан,
[4] Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail:erbolpm@mail.ru

Бұл жұмыста Қазақстанның бірегей өнеркәсіп саласы болып табылатын алюминий өндірісінің толық технологиялық циклінде түзілетін негізгі зиянды компоненттерге кешенді талдау ұсынылған. Өндіріс процесінің әртүрлі кезеңдерінде қоршаған ортаға шығарылатын ластаушы заттардың көлемі бағаланды. Алюминий өндірісінің қоршаған ортаға әсерін азайтуға бағытталған заманауи әдістер мен инновациялық технологияларға ерекше назар аударылды.

Зерттеу нәтижелері атмосфераға шығарылатын ластаушы заттардың көлемін айтарлықтай азайту мүмкіндігін көрсетеді. Атап айтқанда, шаң шығарындысын 9010 мг/Нм³-тен 50 мг/м³-ке дейін, ал күкірт диоксидінің шығарындысын 3378 мг/Нм³-тен 150–200 мг/м³ диапазонына дейін төмендетуге болады. Басқа зиянды компоненттер үшін де осындай нәтижелерге қол жеткізуге болады. Алынған деректер заманауи экологиялық стандарттарға сай өндірістік процестерді қамтамасыз ете отырып, атмосфералық ауаның сапасын арттыруға және алюминий өнеркәсібінің тұрақты дамуын қамтамасыз етуге бағытталған алдыңғы қатарлы экологиялық технологияларды енгізудің маңыздылығын айқындайды.

Түйін сөздер: алюминий, боксит, глинозем, электролиз, электролит, сілті, алюминий электролизі, ең үздік қолжетімді технологиялар, гибридті қап сүзгісі.

ВЛИЯНИЕ «АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА» НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ПУТИ ЕГО РЕШЕНИЯ

[1]К.Б. Масенов, [1]Б.Б. Абенов, [2]Л.Х. Акбаева, [3]Е.М. Панғалиев✉, [4]Н.С. Мамытова

[1]НАО «Международный центр зеленых технологий и инвестиционных проектов», Астана, Казахстан,
[2]Евразийский национальный университет им Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[3]Каспийский Университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау, Казахстан,
[4]Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанов, Астана, Казахстан,
e-mail:erbolpm@mail.ru

В данной работе представлен комплексный анализ основных вредных компонентов, образующихся на всех этапах технологического цикла производства алюминия — уникальной отрасли промышленности Казахстана. Проведена оценка выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду на различных стадиях производственного процесса. Особое внимание уделено современным методам и инновационным технологиям, направленным на снижение объемов опасных выбросов и минимизацию экологического воздействия алюминиевого производства.

Результаты исследования свидетельствуют о значительном потенциале снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. В частности, выбросы пыли могут быть снижены с 9010 мг/Нм³ до 50 мг/м³, а выбросы диоксида серы - с 3378 мг/Нм³ до диапазона 150–200 мг/м³. Схожие результаты могут быть достигнуты и в отношении других вредных компонентов. Полученные данные подчеркивают необходимость внедрения передовых экологических технологий, направленных на повышение качества атмосферного воздуха и обеспечение устойчивого развития алюминиевой промышленности в соответствии с современными экологическими стандартами.

Ключевые слова: алюминий, боксит, глинозем, электролиз, электролит, щёлочь, электролиз алюминия, наилучшие доступные технологии, гибридный рукавный фильтр.

Introduction. Aluminum is the second most widely used material in the world [1]. This is due to its properties such as good electrical conductivity, ductility, and light weight. In addition, this metal retains its qualities even after multiple processing cycles. Because of its physical and chemical characteristics, aluminum is widely used in various sectors of the economy [2]. However, despite the many advantages and benefits of this metal, aluminum production has a negative impact on the environment [3] The main environmental impact of aluminum production is the release of harmful gases and the generation of solid waste. These emissions and waste are produced at various stages of the manufacturing process [4]. The formation of solid waste is mainly due to the extraction of alumina from bauxite. Emissions of harmful gases occur mainly during the electrolysis of alumina [5].

Globally, aluminium production is responsible for about 1% of annual greenhouse gas emissions. Reducing emissions has long been a key issue for the sustainability of the aluminium industry [6].

At present, aluminium production in our country operates on a full system cycle, i.e. the bauxite raw material required for the production of aluminium oxide (Al_2O_3) is first extracted from the earth' s crust by mining and then by the interaction of bauxite with caustic alkali the aluminium oxide required for the production of pure aluminium is produced. Finally, pure metallic aluminium is produced by electrolysis of aluminium oxide during electrolysis.

Currently, the number of harmful substances emitted into the environment (air, water system and soil) in each system chain of this production is enormous. The main environmental aspects of bauxite mining and processing operations are air emissions, mine water generation, waste and land use. The main harmful substances entering the environment during exploration are: dust, harmful gases, wastewater, waste, noise and vibration.

Aluminium electrolysis production also belongs to the category of industries with a high risk to public health and the environment. The main pollutants of the production are gaseous fluorides, low soluble fluorides, benzo(a)pyrene,

inorganic dust, hydrogen fluoride, aluminium oxide, carbon monoxide, resinous substances, sulphurous anhydride [7].

The aim of the study is a systematic assessment of the environmental impact of aluminum production at different stages of the technological cycle. The objectives of the study are to analyze the technological stages of aluminum production in terms of their impact on the environment, identify and classify the main pollutants and waste, assess the industry' s contribution to greenhouse gas emissions, and identify possible approaches to minimize negative environmental consequences.

Materials and methods. The data on pollutant emissions from aluminium production were obtained from official statistical sources, maximum permissible emissions reports and production control documents [8, 9]. Quantitative data on air emissions were structured by different process stages: bauxite mining, alumina production and primary aluminium electrolysis. The obtained values were analysed using standard statistical methods, including averaging minimum and maximum concentrations, comparing them with standard values and classifying by pollutant type [10].

The current levels and amounts of pollutants released into the environment from general aluminum production are shown in Table 1 [8]. These data provide a comprehensive analysis of pollutant emissions at different stages of the production process, highlighting the main environmental problems associated with the industry.

Table 1 - Dust emissions into the atmosphere

Name of object	Gross emissions of pollutants, tonnes	
	max	Min
1	2	3
B1	1.6	1.4

Table 1 provides quantitative data on the total emissions of pollutants resulting from open-pit mining operations during the removal of topsoil. The reported emissions range from 1.4 to 1.6 tonnes. These values are within the permissible environmental limits and do not exceed the established maximum limit values, indicating that pollutant levels are effectively controlled at this early stage of field development.

Based on this, Table 2 provides detailed information on the process of topsoil removal and associated dust emissions during mineral extraction. The data includes dust generation rates at different stages of deposit development, providing an understanding of the extent of environmental impact resulting from these operations.

Table - 2 Dust emissions from stripping operations

Name of object	Gross emissions of pollutants, tonnes	
	max	Min
1	2	3
B1	366.3	312.5

The main harmful emissions during drilling and blasting operations are gaseous substances (nitrogen oxides, carbon monoxide, sulfur dioxide) and inorganic dust, i.e. less than twenty percent of silicon oxide (SiO_2) emissions.

Table 3 - Dust emissions into the ambient air from alumina production

Name of object	Gross emissions of pollutants, tonnes		Concentration, mg/nm^3	
	max	min	max	Min
1	2	3	4	5
Alumina production				
A2	60798.12837	48705.11001	9010	22.5

According to the data in Table 3, dust emissions from alumina production reach significant values: gross emissions vary from 48705.11 to 60798.13 tons, and concentrations from 22.5 to 9010 mg/nm³. Such a wide range indicates high variability of the technological process and the need for strict control of dust and gas cleaning systems.

Table 4 - NOx emissions to ambient air from alumina production

Name of object	Gross emissions of pollutants, tonnes		Concentration, mg/nm^3	
	max	min	max	Min
1	2	3	4	5
Alumina production				
A2	785.6	130.97	4564.9	233.7

Based on the Table 4, the gross NOx emissions are in the range of 130.97–785.6 tons, with concentrations ranging from 233.7 to 4564.9 mg/nm³. The presence of high maximum concentrations indicates a significant potential for air pollution, especially under adverse meteorological conditions.

Table 5 - CO emissions to ambient air from alumina production

Name of object	Gross emissions of pollutants, tonnes		Concentration, mg/nm^3	
	max	min	max	Min
1	2	3	4	5
Alumina production				
A2	498.8	18.4	23868	46.3

Table 5 shows data showing that gross CO emissions range from 18.4 to 498.8 tons, with concentrations fluctuating between 46.3 and 23.868 mg/nm³. Maximum carbon monoxide concentrations significantly exceed sanitary and hygienic standards, posing a threat to the health of workers and the population of adjacent areas.

According to Table 6, SO_2 emissions are in the range of 1013.9–1317.7 tons, with concentrations of 107–3378 mg/nm³. These figures also confirm the high level of pollution, especially when reaching the upper limits of the range.

Alumina production is characterized by high emissions of dust, nitrogen oxides, carbon

monoxide and sulfur dioxide, the concentrations of which in many cases significantly exceed the maximum permissible values. The greatest danger is posed by dust emissions and carbon monoxide, reaching extreme levels and posing a threat to public health and the environment. The data obtained indicate the need to modernize gas cleaning systems and strengthen air quality control.

Table 6 - SO_2 emissions to ambient air from alumina production

Name of object	Gross emissions of pollutants, tonnes		Concentration, mg/nm^3	
	max	min	max	Min
1	2	3	4	5
Alumina production				
A2	1317.7	1013.9	3378	107

Table 7 - Substances making the largest contribution to emissions in primary aluminium production

Name of pollutant	Emission in 2020 tonnes according to inventory data	Share of total emissions, in %
1	2	3
Carbon oxide	42 344	80.75
Sulphur dioxide	8 114	15.47
Inorganic dust containing silicon dioxide in %: more than 70 (Dinas)	628	1.20
Aluminium oxide (Di Aluminium trioxide)	565	01.08
Inorganic dust containing silicon dioxide in %: less than 20 (dolomite, cement manufacturing dust - limestone, chalk, cinders, raw mix, rotary kiln dust, bauxite)	265	0.51
Inorganic, poorly soluble fluorides (aluminium fluoride, calcium fluoride, sodium hexafluoroaluminate)	226	0.43
Nitrogen oxides	94	0.18
Fluorinated gaseous compounds	74	0.14
Inorganic dust containing silicon dioxide in %: 70-20 (fire clay, cement, cement production dust - clay, clay shale, blast furnace slag, sand, clinker, ash, silica, ash from coal deposits in Kazakhstan)	40	0.08
Coal tar pitch with benz/a/pyrene content of 0.1 to 0.15%	13	0.02

The total number of atmospheric air pollution indicators (AAP) is 183 sources, 138 of which are organised, 45 are fugitive, according to the calculation of maximum permissible emission standards for pollutants in the atmospheric air from the aluminium industry (primary aluminium production). The total emissions of harmful substances amount to 52,439 tons per year.

The main pollutant emissions at the plant are produced during primary aluminium production by electrolysis and the use of fuel and energy resources. Carbon oxide and sulphur dioxide make up 96% of primary aluminium production emissions. The main pollutants are presented in Table 7 [8].

During the production of primary aluminium, various pollutants are emitted into the atmosphere, including fluoride and sulfur compounds, dust, carbon monoxide, and coal tar pitch sublimates. These emissions are primarily due to the specific technological processes involved in industrial aluminium production, which utilize raw materials such as fluoride salts, petroleum coke, and coal tar pitch [9]. Tables 8–12 present data on atmospheric pollutant emissions from primary aluminium production at the electrolysis section of facility A3 [8].

Table 8 - Dust (aluminium oxide) emissions into the ambient air from primary aluminium production

Name of object	Gross emissions of pollutants, tonnes/year		Concentration, mg/nm^3	
	max	min	max	Min
1	2	3	4	5
Electrolysis aluminium production				
A3	14.0	10.45	2.96	2.42

Table 9 - SO_2 emissions to ambient air from primary aluminium production

Name of object	Gross emissions of pollutants, tonnes/year		Concentration, mg/nm^3	
	max	min	max	Min
1	2	3	4	5
Electrolysis aluminium production				
A3	1130.5	1052	209.4	199.4

Table 10 - CO emissions from primary aluminium production

Name of object	Gross emissions of pollutants, tonnes/year		Concentration, mg/nm^3	
	max	min	max	Min
1	2	3	4	5
Electrolysis aluminium production				
A3	8078.3	7297.6	1350.3	1257.2

Analysis of the presented data (Tables 8–12) shows that the largest contribution to air pollution in the production of primary aluminum comes from carbon monoxide emissions (Table 10). Their gross amount exceeds 8 thousand tons/year, and concentrations vary within the range of 1257.2-1350.3 mg/nm³, which significantly exceeds the indicators of other pollutants.

The second most significant pollutant is sulfur dioxide emissions (Table 9), reaching 1130.5 tons/year. SO_2 concentrations are 199.4–209.4 mg/nm³, which indicates a stable level of its

formation in the process of aluminum electrolysis.

Emissions of inorganic fluorides and fluorine-containing gaseous compounds (Tables 11, 12) are characterized by significantly lower values (3.3–6.86 t/year), but their environmental hazard is determined by high toxicity and the ability to accumulate in the environment.

Table 11 - Inorganic fluoride emissions into the ambient air from primary aluminium production

Name of object	Gross emissions of pollutants, tonnes/year		Concentration, mg/nm^3	
	max	min	max	Min
1	2	3	4	5
Electrolysis aluminium production				
A3	6.86	6.06	0.95	0.90

Table 12 - Emissions of fluorinated gaseous compounds into the ambient air from primary aluminium production

Name of object	Gross emissions of pollutants, tonnes/year		Concentration, mg/nm^3	
	max	min	max	Min
1	2	3	4	5
Electrolysis aluminium production				
A3	3.7	3.3	0.60	0.56

As shown in Table 8, the emissions of dust (Al_2O_3) amount to 10.45–14.0 t/year, which is relatively small compared to other pollutants, yet they are significant due to their adverse impact on air quality in the sanitary protection zone.

According to the data in Tables 8–12, the main air pollutants in the production of primary aluminum are carbon monoxide and sulfur dioxide, which form the largest volumes of emissions. Despite the relatively smaller gross amounts of dust and fluorine-containing compounds, their environmental hazard is determined by their high toxicity and impact on public health. In general, the results of the analysis indicate the need for enhanced control over CO and SO_2 emissions, as well as the implementation of measures to reduce the concentration of fluorine compounds in the area of the enterprise' s impact.

Results and discussion. From the tables shown, it is possible to see thousands of tons of harmful substances entering the environment from each system chain of "Aluminum production". Currently, the principles of implementing the best available techniques for the purpose of environmental protection have been established at the world level, especially in the countries of the European Union. It is known that the countries of the European Union have reduced harmful substances such as dust and sulfur dioxide entering the environment by 90-94 percent in recent years by introducing the mentioned available techniques. In accordance with the new Environmental Code adopted in the Republic of Kazakhstan in 2021, handbooks are being developed by the Best Available Techniques Bureau of the "International Center for Green Technologies and Investment Projects" for the first category of fifty enterprises. References are being developed taking into account the best practices of the European Union, Russia and other countries.

Aluminum production in our country

(excluding aluminum electrolysis production) has been operating for about 60 years. Most environmental protection facilities are physically and technologically obsolete [11]. Therefore, in order to reduce the damage caused by this industry to the environment and human health, we offer the best of the world-class equipment and technology available, which are listed below: Environmental Management System, Energy Management System, Process Control System, Emission Control System, Wastewater Control System for all process systems of the aluminum industry.

Technological indicators of dust emissions in the processes of grinding, classification, transportation, storage, aluminum oxide production, aluminum electrolysis production, anode firing in aluminum production Hybrid bag filter (using electrostatic precipitator and bag filter), dry sorption gas cleaning ABART unit, regenerative thermal oxidizer, electrostatic It is quite possible to reduce the dust volume by 5-20 mg/Nm^3 using one or more of filter, bag filter, impulse filter, ceramic and metal fine filter techniques [12,13,14].

Table 13 - Parameters of hybrid bag filters [15]

Gas flow	156 000 Nm³/h
Exhaust gas temperature	425 °C until
Smoke hood	500 kW
Rarefaction	50 mbar
Surface of bag(length)	6м.
The composition of solid particles (dust) from the furnace, the volume of dust sent to the hybrid bag filter	2200 mg/m3
Composition of dust after cleaning (solid particles, estimated result of dust)	50 mg/m3
Actual result achieved	1,5 mg/m3

In order to reduce the emissions of sulfur dioxide (SO_2) from process gases, it is possible to reduce the amount of sulfur dioxide in the production of aluminum electrolysis to 150-200 mg/Nm3 by using the technology of using low-sulfur fuel and wet cleaning methods (wet scrubber).

Flue gas recirculation, selective non-catalytic reduction and selective catalytic reduction technologies can be used to reduce nitrogen oxide (NOx) emissions [16].

Carbon oxides in atmospheric air can be reduced by absorption purification using copper-ammonia solutions, catalytic purification technologies using steam reaction, regenerative thermal oxidizing, catalytic thermal oxidizing techniques [17].

Waste water from aluminum production is not discharged into natural water systems. After using the process water in the entire process chain, it undergoes mechanical cleaning as waste water and a decrease in water temperature in special facilities, and is then used again in process chains. This is a closed water circulation system used in production. This system does not harm the environment.

Conclusion. The analysis confirms that a significant reduction in pollutant emissions into the environment is achievable provided that targeted modernization of industrial aluminum production facilities is carried out. One of the key priorities in this process is the replacement of outdated and physically worn-out environmental infrastructure, which in the case of the aluminum industry has been in continuous operation for more than six decades. The technical and moral obsolescence of such equipment significantly limits the ability to meet modern environmental standards.

From an economic point of view, the aluminum

industry occupies a significant share in the industrial production and energy consumption of the country. According to available statistics, the industry consumes up to 4-5% of all electricity produced in the world [18, 19], while environmental protection costs remain below the industry average. At the same time, as international practice shows, the introduction of best available technologies (BAT) in aluminum production allows for a reduction in pollutant emissions by 20-35% while simultaneously reducing energy costs by up to 21% [20], which in turn ensures a reduction in operating costs and increased competitiveness in global markets.

The introduction of these best technologies into existing aluminum production will allow minimizing emissions of harmful substances into the atmosphere, reducing the consumption of natural resources and increasing the overall energy and operational efficiency of enterprises.

The obtained research results can serve as a starting point for research on reducing the negative impact on the environment and people' s health by replacing old facilities with new, the best available equipment in all large industrial facilities in the country.

References

1. Pedneault J., Majeau-Bettez G., Krey V, Margni M. What future for primary aluminium production in a decarbonizing economy? //Global Environmental Change.- 2021. -Vol.69(1). DOI 10.1016/j.gloenvcha.2021.102316.

2. Koli D.K., Agnihotri G., Rajesh Purohit R. Advanced Aluminium Matrix Composites: The Critical Need of Automotive and Aerospace Engineering Fields // Materials Today: Proceedings. -2015. - Vol.2(4-5) - P.3032-3041. DOI 10.1016/j.matpr.2015.07.290.

3. Alasfar R.H., Isaifan, R.J. Aluminum environmental pollution: the silent killer//Environmental Science and Pollution Research.-2021.-Vol.28-P.44587-44597.DOI 10.1007/s11356-021-14700-0.

4. Дампилон Ж.В. Влияние производства алюминия в России на окружающую среду // Вестник Чувашского университета. - 2008. - № 3. -С.349-354.

5. Матевосова К.Л., Грязнова В.А., Чазов Т.К. Экологические проблемы и устойчивое развитие алюминиевой промышленности // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». -2019. -№2. -С.1-17. DOI 10.15862/11ECOR219.

6. Liu G., Müller D.B. Addressing sustainability in the aluminum industry: a critical review of life cycle assessments//Journal of Cleaner Production.-2021.-Vol.35.- P.108-117. DOI 10.1016/j.jclepro.2012.05.030

7. Report on the expert assessment of non-ferrous metallurgy on compliance with the principles of the best available techniques Chapter -2. Aluminum production - Nur-Sultan, 2021.- P.216–252

8. Report on the expert assessment of the enterprise JSC "Aluminium of Kazakhstan" on compliance with the principles of the best available techniques - Nur-Sultan. -2021. -P.34-73

9. Савченко В. П., Лекомцев П. А. Негативное воздействия от предприятий производства первичного алюминия // Евразийский научный журнал. -2020. -№ 3, -С.6-7.

10. Об утверждении Методик определения нормативов эмиссий в окружающую среду. Приказ Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 10 марта 2021 года № 63. -Нур-Султан . -2021. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022317/ Дата обращения: 21.05.2025

11. Постановление Правительства Республики Казахстан от 27 декабря 2023 года № 1200 «Об

утверждении справочника по наилучшим доступным техникам “Производство алюминия”. - Астана, 2023. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300001200/history.- Дата обращения: 21.05.2025

12. Jaworek A., Sobczyk T.A., Marchewicz A., Krupa A., Czech T., Śliwiński L. Hybrid electrostatic filtration systems for exhaust gas cleaning // Journal of Physics: Conference Series. - 2024. - Vol.2702: 012009. DOI 10.1088/1742-6596/2702/1/012009.

13. Pasichnyk M, Stanovsky P., Polezhaev P. ve et.all. Membrane technology for challenging separations: Removal of CO_2, SO_2 and NOx from flue and waste gases // Separation and Purification Technology. - 2023. -Vol.323:124436. DOI 10.1016/j.seppur.2023.124436

14. Eurasian Resources Group ERG: Official site URL: https://erg.kz/ru.

15. Chiaramonte de Castro B.J., Sartim R., Guerra V.G., Lopes Aguiar M. Hybrid air filters: A review of the main equipment configurations and results // Process Safety and Environmental Protection. -2020. - Vol.144. -P.193-207. Vol 10.1016/j.psep.2020.07.025.

16. Jeon M., Lee E., Kim M., Jegal H. and et.al. Nitric oxide (NO) and nitrous oxide (N_2O) emissions during selective non-catalytic reduction and selective catalytic reduction processes in a pulverized coal/Ammonia Co-fired boiler // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2023. - Vol.11:109398. DOI 10.1016/j.jece.2023.109398.

17. Garcia A.J., Villen-Guzman M., Rodriguez-Maroto J.M., Paz-Garcia J.M. Technical analysis of CO_2 capture pathways and technologies // Journal of Environmental Chemical Engineering. -2022. - Vol.10:108470. DOI 10.1016/j.jece.2022.108470

18. Sáez-Guinoa, J., García-Franco, E., Llera-Sastresa, E. et al. The effects of energy consumption of alumina production in the environmental impacts using life cycle assessment // Int J Life Cycle Assess. -2024. -Vol 29. -P.380–393. Doi 10.1007/s11367-023-02257-8

19. Peng, T.; Ren, L.; Du, E.; Ou, X.; Yan, X. Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions Analysis of Primary and Recycled Aluminum in China // Processes. - 2022. -Vol.10, 2299. Doi 10.3390/pr10112299

20. Moya J.A., Boulamati A. Energy efficiency and GHG Emissions: Prospective Scenarios for the Aluminium Industry // JRC scientific and policy reports. -2015. Doi 10.2790/263787.

References

1. Pedneault J., Majeau-Bettez G., Krey V, Margni M. What future for primary aluminium production in a decarbonizing economy? //Global Environmental Change.- 2021. -Vol.69(1). DOI 10.1016/j.gloenvcha.2021.102316.

2. Koli D.K., Agnihotri G., Rajesh Purohit R. Advanced Aluminium Matrix Composites: The Critical Need of Automotive and Aerospace Engineering Fields // Materials Today: Proceedings. -2015. - Vol.2(4-5) - P.3032-3041. DOI 10.1016/j.matpr.2015.07.290.

3. Alasfar R.H., Isaifan, R.J. Aluminum environmental pollution: the silent killer//Environmental Science and Pollution Research.-2021.-Vol.28-P.44587-44597.DOI 10.1007/s11356-021-14700-0

4. Dampilon Zh.V. Vlijanie proizvodstva aljuminija v Rossii na okruzhajushhuju sredu // Vestnik Chuvashskogo universiteta. - 2008. - № 3. -S.349-354. [in Russian]

5. Matevosova K.L., Grjaznova V.A., Chazov T.K. Jekologicheskie problemy i ustojchivoe razvitie aljuminievoj promyshlennosti // Internet-zhurnal «Othody i resursy». -2019. -№2. -S.1-17. DOI 10.15862/11ECOR219. [in Russian]

6. Liu G., Müller D.B. Addressing sustainability in the aluminum industry: a critical review of life cycle assessments//Journal of Cleaner Production.-2021.-Vol.35.- P.108-117. DOI 10.1016/j.jclepro.2012.05.030

7. Report on the expert assessment of non-ferrous metallurgy on compliance with the principles of the best available techniques Chapter -2. Aluminum production - Nur-Sultan, 2021.- P.216–252

8. Report on the expert assessment of the enterprise JSC ”Aluminium of Kazakhstan” on compliance with the principles of the best available techniques - Nur-Sultan. -2021. -P.34-73

9. Savchenko V. P., Lekomcev P. A. Negativnoe vozdejstvija ot predprijatij proizvodstva pervichnogo aljuminija // Evrazijskij nauchnyj zhurnal. -2020. -№ 3, -S.6-7. [in Russian]

10. Ob utverzhdenii Metodik opredelenija normativov jemissij v okruzhajushhuju sredu. Prikaz Ministra jekologii, geologii i prirodnyh resursov Respubliki Kazahstan ot 10 marta 2021 goda № 63. -Nur-Sultan . -2021. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100022317/.- Data obrashhenija: 21.05.2025. [in Russian]

11. Postanovlenie Pravitel’ stva Respubliki Kazahstan ot 27 dekabrja 2023 goda № 1200 «Ob utverzhdenii spravochnika po nailuchshim dostupnym tehnikam “Proizvodstvo aljuminija”. - Astana, 2023. URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300001200/history.- Data obrashhenija: 21.05.2025. [in Russian]

12. Jaworek A., Sobczyk T.A., Marchewicz A., Krupa A., Czech T., Śliwiński L. Hybrid electrostatic filtration systems for exhaust gas cleaning // Journal of Physics: Conference Series. - 2024. - Vol.2702: 012009. DOI 10.1088/1742-6596/2702/1/012009.

13. Pasichnyk M, Stanovsky P., Polezhaev P. ve et.all. Membrane technology for challenging separations: Removal of CO_2, SO_2 and NOx from flue and waste gases // Separation and Purification Technology. - 2023. -Vol.323:124436. DOI 10.1016/j.seppur.2023.124436

14. Eurasian Resources Group ERG: Official site URL: https://erg.kz/ru.

15. Chiaramonte de Castro B.J., Sartim R., Guerra V.G., Lopes Aguiar M. Hybrid air filters: A review of the main equipment configurations and results // Process Safety and Environmental Protection. -2020. - Vol.144. -P.193-207. Vol 10.1016/j.psep.2020.07.025.

16. Jeon M., Lee E., Kim M., Jegal H. and et.al. Nitric oxide (NO) and nitrous oxide (N_2O) emissions during selective non-catalytic reduction and selective catalytic reduction processes in a pulverized coal/Ammonia Co-fired boiler // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2023. - Vol.11:109398. DOI 10.1016/j.jece.2023.109398.

17. Garcia A.J., Villen-Guzman M., Rodriguez-Maroto J.M., Paz-Garcia J.M. Technical analysis of CO_2 capture pathways and technologies // Journal of Environmental Chemical Engineering. -2022. - Vol.10:108470. DOI 10.1016/j.jece.2022.108470

18. Sáez-Guinoa, J., García-Franco, E., Llera-Sastresa, E. et al. The effects of energy consumption of alumina production in the environmental impacts using life cycle assessment // Int J Life Cycle Assess. -2024. -Vol 29. -P.380–393. Doi 10.1007/s11367-023-02257-8

19. Peng, T.; Ren, L.; Du, E.; Ou, X.; Yan, X. Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions Analysis of Primary and Recycled Aluminum in China // Processes. - 2022. -Vol.10, 2299. Doi 10.3390/pr10112299

20. Moya J.A., Boulamati A. Energy efficiency and GHG Emissions: Prospective Scenarios for the Aluminium Industry // JRC scientific and policy reports. -2015. Doi 10.2790/263787.

Information about the authors

Massenov K.B. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of BAT reference books of

“International Center for Green Technologies and Investment Projects”, Astana, Kazakhstan, e-mail: kmasenov@mail.ru;

Abenov B.B. - Managing Director - Head of the Best Available Techniques Bureau of “International Center for Green Technologies and Investment Projects”, Astana, Kazakhstan, e-mail: b.abenov@igtipc.org;

Akbayeva L.Kh. - Candidate of Biological Sciences, Ass. Professor, L. Gumilev ENU, Astana, Kazakhstan, e-mail: akbaeva659@mail.ru;

Pangaliyev Y.M. - Doctor of Philosophy PhD, Ass. Professor, Sh. Yessenov Caspian University of Technology and Engineering, Aktau, Kazakhstan, e-mail: erbolpm@mail.ru;

Mamytova N.- Doctor PhD, Ass. Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: nmamytova@mail.ru.

Информация об авторах

Масенов К.Б. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор. Руководитель управления справочников по НДТ НАО «Международный центр зеленых технологий и инвестиционных проектов», Астана, Казахстан, e-mail: kmasenov@mail.ru;

Абенов Б.Б. -управляющий директор - Руководитель Бюро наилучших доступных техник НАО «Международный центр зеленых технологий и инвестиционных проектов», Астана, Казахстан, e-mail: b.abenov@igtipc.orgЖ

Акбаева Л.Х. - кандидат биологических наук, асс. профессор кафедры «Управление и инжиниринг в сфере охраны окружающей среды» ЕНУ им. Л. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: akbaeva659@mail.ru;

Панғалиев Е.М. - доктор философии PhD, Асс. Профессор, Каспийский Университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова, Актау, Казахстан, e-mail: erbolpm@mail.ru;

Мамытова Н.С. -доктор PhD, ассистент- профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: nmamytova@mail.ru.

ҒТАМР 52.01.93 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1030**

ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ ТРУДА И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ

[1]А.Б. Бекмагамбетов, [1]А.М. Рахметова, [2]Ж.Т. Нуртай, [1]Э.А. Кульмагамбетова, [1]Н.Б. Абдрахманова, [1]Н.Т. Сагиндикова, [3]Р. Марчеллони

[1]РГП на ПХВ Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан,

[2]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,

[3]Национальный институт страхования от несчастных случаев на производстве Италии (INAIL)

Корреспондент-автор: zhadira_nurtai@mail.ru

Статья посвящена анализу специфики условий труда и уровня профессиональных рисков на предприятиях, осуществляющих производство фосфорных удобрений. Исследование фокусируется на воздействии неблагоприятных факторов производственной среды на здоровье работников как ключевом факторе формирования профессиональных заболеваний. Учитывая высокую токсичность используемого сырья и промежуточных продуктов, особое внимание уделено комплексной оценке условий труда, сопоставлены условия труда основных цехов и инженерно-технического персонала, проведен анализ данных аттестации рабочих мест и результатов анкетирования работников, а также картирования профессиональных рисков. Полученные данные подтверждают высокую степень профессиональной опасности на ряде технологических участков и указывают на необходимость системного внедрения превентивных мер - от инженерно-технических решений до совершенствования корпоративных программ охраны труда. Представленные данные могут служить научным обоснованием для разработки более эффективных механизмов управления профессиональными рисками в обрабатывающей отрасли.

Ключевые слова: опасный производственный фактор, предельно допустимый уровень, вредный фактор, предельно допустимая концентрация, профессиональный риск, профессиональные заболевания.

ФОСФОР ТЫҢАЙТҚЫШТАРЫН ӨНДІРУ КӘСІПОРЫНДАРЫНДАҒЫ ЖҰМЫС ЖАҒДАЙЛАРЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ ЖӘНЕ КӘСІПТІК ТӘУЕКЕЛДЕР

[1]Ә.Б. Бекмағамбетов, [1]А.М. Рахметова, [2]Ж.Т. Нұртай, [1]Э.А. Құлмағамбетова, [1]Н.Б. Әбдрахманова, [1]Н.Т. Сағындықова, [3]Р. Марчеллони

[1]Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан,

[2]Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

[3]Италияның өндірістегі жазатайым оқиғалардан сақтандыру бойынша ұлттық институты (INAIL), e-mail:zhadira_nurtai@mail.ru

Мақала фосфор тыңайтқыштарын өндіретін кәсіпорындардағы еңбек жағдайлары мен кәсіптік тәуекелдер деңгейінің ерекшеліктерін талдауға арналған. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей кәсіптік аурулардың қалыптасуының негізгі факторы ретінде өндірістік ортаның қолайсыз факторларының жұмыскерелрдің денсаулығына әсер етуіне назар аударылады. Пайдаланылатын шикізат пен аралық өнімдердің жоғары уыттылығын ескере отырып, еңбек жағдайын кешенді бағалауға ерекше назар аударылады, негізгі цехтар мен инженерлік-техникалық персоналдың еңбек жағдайлары салыстырылады, жұмыс орнын аттестациялау деректері мен жұмыскерлер сауалнамасының нәтижелеріне талдау жасалады, сондай-ақ кәсіптік тәуекелдерді картаға түсіру жүргізіледі. Алынған деректер бірқатар технологиялық салалардағы кәсіптік қауіптіліктің жоғары дәрежесін растайды және инженерлік-техникалық шешімдерден бастап еңбекті қорғаудың корпоративтік бағдарламаларын жетілдіруге дейінгі профилактикалық шараларды жүйелі түрде жүзеге асыру қажеттілігін көрсетеді. Ұсынылған деректер өңдеу саласындағы кәсіптік тәуекелдерді басқарудың неғұрлым тиімді тетіктерін әзірлеу үшін ғылыми негіздеме бола алады.

Түйін сөздер: қауіпті өндірістік фактор, шекті рұқсат етілген деңгей, зиянды фактор, шекті рұқсат етілген концентрация, кәсіптік тәуекел, кәсіптік аурулар.

PECULIARITIES OF WORKING CONDITIONS AND OCCUPATIONAL RISKS FOR ENTREPRENEURS FOR THE PRODUCTION OF PHOSPHOROUS FERTILIZERS

[1]A.B. Bekmagambetov, [1]A.M. Rakhmetova, [2]Z.T.Nurtai✉, [1]E.A. Kulmagambetova, [1]N.B. Abdrakhmanova, [1]N.T. Sagindykova, [3]R. Marcelloni

[1]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,
[2]K. Kulazhanova Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[3]National Institute of Industrial Accident Insurance of Italy (INAIL),
e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru

The article is devoted to the analysis of the specifics of working conditions and the level of occupational risks at enterprises engaged in the production of phosphorous fertilizers. The research focuses on the impact of adverse environmental factors on the health of workers as a key factor in the formation of occupational diseases. Given the high toxicity of the raw materials and intermediates used, special attention was paid to a comprehensive assessment of working conditions, the working conditions of the main workshops and engineering and technical personnel were compared, the data on workplace certification and the results of employee surveys, as well as occupational risk mapping, were analyzed. The data obtained confirm the high degree of occupational hazard at a number of technological sites and indicate the need for systematic implementation of preventive measures, from engineering and technical solutions to improving corporate occupational safety programs. The presented data can serve as a scientific justification for the development of more effective professional risk management mechanisms in the manufacturing industry.

Keywords: harmful factor, dangerous production factor, maximum permissible concentration, maximum permissible level, occupational risk, occupational diseases.

Введение. Любая форма трудовой занятости неизбежно связана с влиянием факторов производственной среды, способных привести к возникновению травм и развитию заболеваний, обусловленных профессиональной деятельностью. Среди факторов, наиболее часто правоциирующих развитие профессиональных патологий, на первом месте стоят физические воздействия производственной среды, в частности шум, вибрация, а также запыленность воздуха. Несмотря на существующие меры по улучшению условий труда, концентрации вредных факторов зачастую остаются на высоком уровне, продолжая представлять значительную опасность для здоровья работников [1,2].

Согласно статистике международной организации труда, ежегодная смертность, обусловленная профессиональными заболеваниями и производственными травмам, превышает 2,2 млн человек.

По данным бюро национальной статистики Республики Казахстан, в 2024 году на предприятиях страны пострадало 1408 чел. Количество пострадавших со смертельным исходом составило 202 чел. Наибольшее количество пострадавших отмечается в горно-металлургической промышленности - 18%, в строительной отрасли - 10% и нефтегазовой отрасли - 4%. На 1 мая текущего года пострадало 412 чел., из них погибло 56 чел., на предприятиях горно-металлургической промышленности - 15,3% и в строительной отрасли - 12%, на предприятиях коммунального хозяйства - 5%. В 2023 году 662 случая - профессиональных заболеваний и 97 случаев острых отравлений [3].

В современных условиях одним из приоритетных и эффективных подходов к обеспечению безопасности выступает реализация системы превентивных мер, основанных на систематическом анализе и всесторонней оценке про-

фессиональных рисков [4].

За последние годы в Республике Казахстан, в связи с внесением изменений в трудовое законодательство, существенно возросло внимание к вопросам оценки профессиональных рисков. Так, изменения, внесенные в актуализированный переход к системной оценке условий труда с учетом факторов производственной среды и трудового процесса.

Эти изменения нормативной базы создали предпосылки для внедрения современных подходов, в том числе риск-ориентированного метода, как ключевого элемента системы управления охраной труда. В частности, они позволяют работодателям не просто выполнять требования по безопасности, но и выстраивать систему активного управления рисками на рабочих местах.

Оценка профессиональных рисков и определение класса условий труда становятся важнейшими инструментами, обеспечивающими целенаправленную профилактику профессиональных заболеваний. Это особенно важно для заболеваний, не входящих в перечень официально признанных профессиональных, но возникающих под воздействием вредных и опасных факторов, таких как профессионально-обусловленные заболевания.

В настоящее время в Республике Казахстан, все производственные факторы подлежат обязательной оценке профессиональных рисков. Оценка проводится в разрезе каждой профессии/рабочему месту с учетом технологических, бизнес-процессов и видов деятельности организации на основании утвержденного реестра [5].

Производство фосфорных удобрений относится к числу химических опасных отраслей, где работники подвержены воздействию целого комплекса вредных производственных факторов – таких как токсичные химические вещества (фосфорная кислота, фториды, аммиак и др.), промышленная пыль, шум, загазованность, вибрация и др. Длительное и регулярное воздействие этих факторов приводит к росту профессиональных заболеваний, снижению работоспособности и увеличению производственных рисков. В условиях повышения требований охране труда и промышленной безопасности возрастает необходимость научного осмысления и системного подхода к оценке условий труда и профилактике профессиональных рисков [6].

Особую актуальность приобретают исследования, направленные на разработку эффективных превентивных мер, совершенствование системы мониторинга производственной среды, а также профилактику профессиональных заболеваний. В современных условиях перехода к устойчивому безопасному производству данное направление научных изысканий не только востребовано, но и имеет важное значение для формирования здоровой и безопасной производственной среды.

Целью исследования является определение и анализ особенностей условий труда условий труда и профессиональных рисков работников на предприятиях по производству фосфорных удобрений с последующим выявлением факторов, способствующих развитию профессиональных заболеваний. Для достижения поставленной цели в рамках исследования изучена специфика производственного процесса и определение основных вредных и опасных факторов, воздействующих на работников с использованием данных по аттестации рабочих мест, а также выявить рабочие профессии с повышенным профессиональным риском.

Научная новизна исследования заключается в комплексном подходе к оценке условий труда и профессиональных рисков на предприятии по производству фосфорных удобрений с позиции парадигмы устойчивого и безопасного производства. Впервые выполнена систематизация данных аттестации рабочих мест и оценки профессиональных рисков с целью установления взаимосвязи между профессиональной принадлежностью и уровнем воздействия вредных факторов, определены категории работников и производственные участки с наиболее высоким риском развития профессиональных заболеваний.

Материалы и методы. Научное исследование проводилось в основных цехах Пилотно-

го предприятия обрабатывающей отрасли, включая цех по производству минеральных удобрений, экстракционной фосфорной кислоты, контактной серной кислоты, а также по выпуску обесфторенного фосфата.

Информация о присутствии и свойствах вредных факторов на производственных участках подтверждены результатами аттестации рабочих мест и гигиенической оценке условий труда представителей основных рабочих профессий предприятия минеральных удобрений, документации отчетного характера, по данным оценки рисков на производстве, выполненной в 2024 году [7].

Исследования включали анализ нормативной документации (Трудовой Кодекс Республики Казахстан от 23 ноября 2015 года № 414-V; Методика «Гигиенические критерии оценки и классификация условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса» утвержденных Приказом Председателя Комитета санитарно-эпидемиологического контроля Министерства здравоохранения Республики Казахстан от 31 декабря 2020 года № 24; 3. Приказ Министра здравоохранения и социального развития Республики Казахстан от 28 декабря 2015 года № 1057 ”Об утверждении Правил обязательной периодической аттестации производственных объектов по условиям труда, методические указания по аттестации рабочих мест), качественные методы (анкетирование основного персонала работников предприятия, наблюдения), количественные методы (описательная и статистическая обработка результатов, результатов аттестации рабочих мест) [2,3,4, 8].

Выбранные методы обоснованы спецификой исследуемого объекта - предприятие химической промышленности, где оценка условий труда требует как анализа объективных показателей, так и учета субъективного восприятия рисков со стороны работников.

В исследовании приняли участие работники пяти цехов Пилотного предприятия. Общий объем выборки составил 992 работников, из них производственный персонал -878, инженерно-технический персонал - 114. Выборка сформулирована с учетом должностного состава, стажа и характера выполняемых работ. Сбор данных включал: анкетирование работников по вопросам условий труда, самочувствия, соблюдения требований охраны труда; анализ результатов аттестации рабочих мест по условиям труда; изучение карт профессиональных рисков и медицинских заключений.

Обсуждение и результаты. Проведено исследование условий труда рабочих мест в основных цехах, определенных с помощью инструментальных замеров определены профессиональные риски, проанализированы данные по выявленным случаям профессиональных заболеваний, а также проведена выборка по возрасту и стажу, анализ анкетных данных, а также составлены карты рисков рабочих профессий.

В результате выборки по стажу и возрасту выявлено, что в цехах № 1, 2 разделение трудового коллектива по возрастным группам рабочих по возрасту следует следующей структуре: доля сотрудников в возрасте от 20 до 30 лет составляет 26%, работники возрастной группы (31-40) равен 39,5%, группа от 41до 50 лет охватывает 29%, к категории 51-60 лет относится 3,7%, в возрастной группе 61-65 лет равен 1,8% работников.

Представлены стажевые интервалы: категория работников со стажем 1 - 5 лет занимает 38%, процентное соотношение сотрудников со стажем от 6 - 10 лет варьируется в 22%, в группу со стажем 11 - 15 лет входит 15,5%, количество сотрудников, проработавших более 15 лет, насчитывает 24,5% работников.

В результате опроса, 30 работников указали на наличие проблем с бронхолегочной системы, 26 работников отметили, что часто болеют острой респираторной вирусной инфекцией, 15 работников подтверждены болезням опорно-двигательного аппарата (грыжа, артриты, артрозы), 4 работника отметили наличие заболеваний почек и 2 работника подвержены к частым заболеваниям нервной системы, 13 работников отметили другие заболевания (уход за ребенком и

др.).

Имеет место превышение санитарно-гигиенических норм по физическому фактору, шумовое воздействие на рабочих местах составило до 100,0 дБа (80 дБа), уровень вибрационного воздействия превышает установленные нормы до 82,6 дБ (75дБ). Зафиксировано в производственной среде содержание слабофиброгенной аэрозоли с содержанием оксида фосфора в 52% (P_2O_5) и азота (12%), имеется наличие триоксида железа, аммиака, а также тяжесть выполняемых трудовых операций.

Разработаны карты оценки профессиональных рисков, в рамках которых были определены рабочие профессии, подверженные воздействию вредных и (или) опасных производственных факторов.

Так, выполняя рабочее место аппаратчика нейтрализации характеризуется воздействием шума, вибрации, подвергается опасному воздействию агрессивных химикатов и термических факторов, воздействию опасных веществ, приводящих к отравлению и травмированию электрическим током.

Условия труда аппаратчика выпаривания сопровождаются воздействием вибрации, шума, наличием в производственной среде аэродисперсных частиц аммофоса, воздействие высокой и низкой температуры поверхности оборудования при движении работника, угроза пожара или взрыва (механическое воздействие и усиленное давление), а также риск падения, разрешение зданий, сооружений и их элементов, а также конструкций производственного оборудования.

Анализ возрастного состава рабочих в цехе экстракционной серной кислоты показывает: категория работников с трудовым стажем 20-30 лет составило 18%, на работников в возрасте от 31 до 40 лет приходится 33%, группа от 41 до 50 лет охватывает 30%, к категории 51-60 лет относится 19% работников.

Категория работников со стажем от 1-5 лет занимает 56% в общей структуре, трудовой стаж 6 - 10 лет варьируется в пределах 20%, работники со средней продолжительностью стажа 11-15 лет составляют 4%, группа работников, проработавших 15-20 лет представлена в количестве 20%.

Согласно результатам анкетирования, четверо работников указали на частые заболевания костно-суставной системы (грыжа, артриты, артрозы) и два работника отмечают у себя болезни мочевыделительной системы.

Значения физического фактора превышают предельно-допустимые концентрации, зарегистрированы уровни шума до 85 дБа, зафиксирована повышенная вибрационная нагрузка на рабочих местах до 82,7дБ, выявлено присутствие слабофиброгенной аэрозоли с содержанием фосфогипса до 10,7 мг/м^3, аммофосной пыли до 10,7 мг/м^3, оксид марганца до 2,0 мг/м^3; триоксид железа **до** 8,5 мг/м^3, а также физическая нагрузка, связанная с выполенением трудовых обязанностей.

Выполнено картирование профессиональных рисков, отражающие уровни прфессиональных рисков на рабочих местах. Идентифицированы рабочие зоны данного цеха с повышенным уровнем профессиональных рисков. Выполняя производственные обязанности, аппаратчик дозирования подвергается воздействию вращающихся и движущихся частей оборудования, механизмов, машин имеющие острые углы, кромки, заусенцы и неровные поверхности, с возможным риском сдавливания, захватов, ударов, высокой и низкой температуры контактной поверхности оборудования при перемещении работников между рабочими участками, поражающее действие электрического тока, вероятность развития пожаро и (или) взрывообразования, а также влияние шума и вибрации.

Рабочая зона машиниста конвейера характеризуется условиями, создающими риск падения с высотных объектов, риск травмирования от подвижных и вращающихся деталей машин и механизмов и поражения электрическим током, наличием фосфорита, кварцита, кокса в пылезвешенном состоянии.

Распределение работников цеха кормового обесфторенного фосфора с учетом возрастных

характеристик представлен следующим образом: возрастная группа 20-30 лет составляет 5%, показатель для возрастной группы 31- 40 лет равен 18%, к категории 41-50 лет относится 24%, процентное соотношение работников в возрасте 51-60 лет составляет 48%, 51-60 лет - 5%.

Структура персонала по стажу включает работников со стажем 1-5 лет (9%), работники с трудовым стажем от 6-10 лет составляют 34%, в интервал 11-15 лет входит 46%, количество сотрудников, проработавших более 15 лет составляет 11%.

По данным анкетирования, 50 работников отметили, что болели острой респираторной вирусной инфекцией, 11 работников, указали на проблемы с сердечно-сосудистой системы, у 18 работников диагностированы заболевания центральной нервной системы, 17 работников отметили наличие заболеваний мочевыделительной и бронхолегочной систем, у 38 работников диагностированы заболевания опорно-двигательного аппарата, у 10 работников установлены другие заболевания.

Показатели факторов производственных факторов, полученные в результате оценки условий труда, показали превышение предельно-допустимой концентрации. Уставновлен недостаточный уровень освещенности рабочих зон (115 лк, при норме 200 лк), аэрозольные частицы в воздухе рабочей зоны с концентрацией фосфогипса до 8,8 мг/м^3, фосфорной кислоты до 1,2 мг/м^3, фторгазов до 1,52 мг/м^3, аммиака до 21,3 мг/м^3, триоксида железа до 8,5 мг/м^3, оксида марганца до 2,0 мг/м^3, а также нагрузка на организм, обусловленная характером труда [9].

При составлении карты, идентифицированы рабочие зоны с повышенным уровнем профессиональных рисков. Условия труда машиниста котлов и машиниста штабелеформирующих машин, включают влияние физических факторов, включая шум и вибрацию, поражающее действие электрическим током, вероятность развития пожаро- или взрывоопасности, физическое воздействие от подвижных элементов промышленного оборудования, а также риск развития острых интоксикаций от фторсодержащих газов.

Возрастной состав цеха по производству серной кислоты представлен в следующем виде: процентное соотношение работников в возрасте 20-30 лет составляет 27%, в возрастной группе 31-40 лет наблюдается 55%, лица в возрасте от 41-50 лет составляют 18% работников.

По показателю трудового стажа категория 1-5 лет составляет 8%, стаж работы в пределах 6-10 лет – 26%, группа работников проработавших 11-15 лет - 23%, больше 15 лет - 43% из числа работников.

У 5 работников выявлены случаи острой респираторной вирусной инфекции, 3 работника отметили наличие заболеваний дыхательной системы, 4 работника, сообщили о диагнозах, касающихся заболеваний почек, у 10 работников диагностированы заболевания опорно-двигательного аппарата и у 9 работников установлены другие заболевания [7].

В ходе анализа условий труда было установлено превышение по шумовому фактору до 85,3 дБа, показатели вибрации до 116,8 дБ, обнаружено присутствие пыли фосфогипса с содержанием до 12-16% фосфора P_2O_5 и 20-30% гипса ($CaSO_4$x $2H_2O$) - 9,56 мг/м^3, сернистого ангидрида до 9,56 мг/м^3, при норме не более 5,0 мг/м^3, триоксида железа до 8,5 мг/м^3 , при норме 6,0 мг/м^3, а также интенсивность физического труда.

Вредные производственные факторы представлены на рисунке 1.

Определены рабочие места, подверженные профессиональным вредностям, к ним относятся аппаратчик плавления, аппаратчик обжига, машинист турбинных установок. В процессе работы эти профессии сталкиваются с вредными производственными факторами: отравление диоксидом серы, химический ожог серной кислотой, кальцинированной содой, известью, термический ожог паром, горячей водой, расплавленной жидкой серы при соприкосновении с горячими неизолированными поверхностями оборудования, поражение электрическим током, шум вибрация), а также, воздействие высокой и

низкой температуры поверхности оборудования при движении работника, поражение электрическим током, угроза пожара или взрыва (трение или повышенное давление).

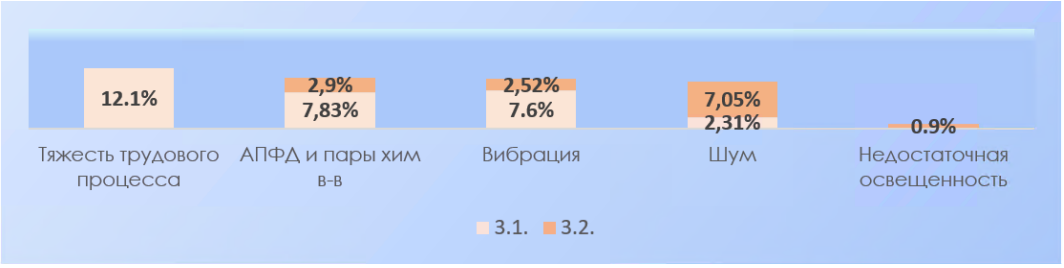


Рис.1 - Вредные производственные факторы

При анализе отчетной документации (журнал регистрации профессиональных заболеваний) зафиксирован акт о случаях профессионального заболевания, установленных согласно правилам экспертизы установления связи профессионального заболевания с выполнением трудовых обязанностей [6]:

- хроническая интоксикация соединениями фосфора второй стадии, дыхательная недостаточность первой степени, функциональная недостаточность кардии, хроническое легочное сердце, в стадии компенсации, множественная адентия, хронический бронхит в стадии ремиссии, рефлюкс-эзофагит, хронический эрозивный антральный рефлюкс-гастрит, в фазе не полной ремиссии, атония привратника, хронический бульбит, дискинезия желчевыводящих путей, осложненным бескаменным холециститом в фазе не полной ремиссии, хронический панкреатит в фазе неполной ремиссии, остеопороз костей нижней конечности, астено-вегетативный синдром, умеренной степени выраженности клинических проявлений. Заболевание профессиональное, первичное;

- хроническая интоксикация соединениями фосфора второй стадии, дыхательная недостаточность первой степени, хронический обструктивный бронхит, в фазе ремиссии, функциональная недостаточность кардии, хронический рефлюкс-эзофагит, хронический эрозивный гастрит, в фазе неполной ремиссии, атония привратника, деформация луковицы двенадцатиперстной кишки в стадии рубцевания, дискинезия желчного пузыря по гипотоническому типу, осложненная бескаменным холециститом, реактивным панкреатитом в фазе неполной ремиссии, пародонтоз, адентия, остеопороз костей нижней челюсти, астено-вегетативный синдром, умеренной степени выраженности клинических проявлений. Заболевание профессиональное, первичное [10].

Таким образом, результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что на предприятии присутствуют рабочие места, профессии, сопряженные с повышенной вероятностью воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов, способствующих повышенному риску развития профессиональных заболеваний.

Выводы. По результатам проведенных исследований, установлено, что производство фосфорных удобрений характеризуется высокой степенью профессиональных рисков, обусловленного воздействием комплекса вредных факторов, в том числе физических факторов (шум, вибрация) и химических веществ (фосфорная кислота, аммиак, фторгазы, слабофиброгенные аэрозоли, аммофосная пыль и др.). Наиболее значимыми факторами риска являются химические и аэрозольные загрязнители, оказывающие токсическое воздействие агрессивных соединений на дыхательную систему, сердечно-сосудистую систему и общее состояние здоровья работников, что подтверждается результатами исследований. При наличии предрасположенности у рабочих может наблюдаться хро-

нические бронхиты, пневмокониозы, токсические пневмониты, аллергические заболевания, а также обострение бронхиальной астмы. Также комплексное воздействие физических факторов повышает риск психоэмоционального напряжения, может усугублять течение хронических заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем. Особенности технологического процесса, связанные с использованием агрессивных химических реагентов, эксплуатацией оборудования под давлением, обуславливает необходимость строгого соблюдения норм безопасности труда. Результаты аттестации рабочих мест, свидетельствуют, что условий труда для работников основных профессий, занятых переработкой минеральных удобрений, соответствовала классу 3.1, 3.2. Следовательно, наличие значительных рисков, связанных с превышением установленных норм воздействия опасных и (или) вредных производственных факторов на рабочем месте по химическому и физическому фактору, а также тяжести трудового процесса, неблагоприятно воздействующих на работников предприятия с развитием профессиональных заболеваний.

Для минимизации негативного воздействия вредных и опасных производственных факторов целесообразно внедрение следующих превентивных мер: проведение регулярной оценки условий труда, модернизация технологического оборудования с целью снижения уровня шума, вибрации, запыленности и др., установка вентиляционных систем и систем фильтрации воздуха, автоматизация и дистанционное управление опасными производственными процессами, проведение профилактических медицинских осмотров и мониторинга здоровья работников, обеспечение работников средствами индивидуальной защиты с учетом специфики производственной деятельности, разработка и реализация программ повышения квалификации работников в области охраны труда, организация корпоративных программ по формированию культуры безопасности труда, а также информационно-обучающие меры. Крайне важно, чтобы данные меры были интегрированы в долгосрочную стратегию, направленную на систематическое совершенствование условий труда и снижение профессиональных рисков для здоровья сотрудников, что позволит сократить число производственных травм и заболеваний, а также повысить общую эффективность и продуктивность труда.

Финансирование. В статье приведены результаты научных исследований, полученных в ходе реализации научно-технической программы в рамках программно-целевого финансирования работ Республиканского научно-исследовательского института по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан **(ИРН BR22182673)** на тему «Трансформация государственного механизма социальных гарантий в отношении лиц, занятых во вредных условиях труда в современном контексте.

Литература

1. Чушкина Д.А. Анализ и выявление опасных вредных факторов на газопромысловом предприятии //Вестник магистратуры. -2022.- № 12-6 (135). - С.5-7.

2. Мигунова Ю.В. Влияние производственных факторов на условия труда работников //Общество:социология, психология, педагогика.-2021.-№ 4 -С.53-56 DOI 10.24158/spp.2021.4.9

3. Бюро национальной статистики/ - 2025. URL: https://stat.gov.kz. - Дата обращения: 04.05.2025.

4. Васяйчева В.А., Иванушкина С.А. исследование эффективности обеспечения безопасности труда на предприятии //Вестник Самарского университета. Экономика и управление.- 2023.- Т.14 (4).- С.22-28. DOI 10.18287/2542-0461-2023-14-4-22-28.

5. Приказ Министра труда и социальной защиты населения Республики Казахстан от 11 сентября 2020 года № 363 Об утверждении Правил управления профессиональными рисками. URL:

https://adilet.zan.kz. - Дата обращения: 04.05.2025.6. Помыткина Т.Е. Состояние здоровья работников при производстве соединений азотной группы (обзор литературы) //Гигиена и санитария. - 2014. - № 3. - С.39- 41.

7. Приказ Министра здравоохранения и социального развития Республики Казахстан от 28 декабря 2015 года № 1057 «Об утверждении Правил обязательной периодической аттестации производственных объектов по условиям труда» URL: https://adilet.zan.kz. - Дата обращения: 04.05.2025.

8. Трудовой кодекс Республики Казахстан от 23 ноября 2015 года № 414-V (с изменениями и дополнениями по состоянию на 16.09.2025 г.) URL: https://adilet.zan.kz. - Дата обращения: 04.05.2025.

9. Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 20 декабря 2020 года № ҚР ДСМ-284/2020. «Об утверждении порядка регистрации субъектами здравоохранения оказывающими специализированную медицинскую помощь в области профессиональной патологии и экспертизы по месту их выявления всех случаев профессиональных заболеваний и (или) отравлений, в том числе подозрений на профессиональные заболевания и (или) отравления, обусловленные воздействием на работника вредных производственных факторов в связи с выполнением работником своих трудовых (служебных) обязанностей, либо иных действий, по собственной инициативе в интересах работодателя, в том числе после прекращения трудовых отношений с работодателем». URL: https://adilet.zan.kz. - Дата обращения: 05.05.2025.

10. Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2023 жылғы 28 желтоқсандағы № 1182 Қаулысы Қазақстан Республикасының 2024 – 2030 жылдарға арналған Қауіпсіз еңбек тұжырымдамасын бекіту туралы. URL: https://adilet.zan.kz - Дата обращения 05.05.2025.

References

1. Chushkina D.A. Analiz i vyjavlenie opasnyh vrednyh faktorov na gazopromyslovom predprijatii //Vestnik magistratury. -2022.- № 12-6 (135). - S.5-7. [in Russian]

2. Migunova Ju.V. Vlijanie proizvodstvennyh faktorov na uslovija truda rabotnikov //Obshhestvo:sociologija, psihologija, pedagogika.-2021.-№ 4 -S.53-56 DOI 10.24158/spp.2021.4.9. [in Russian]

3. Bjuro nacional’ noj statistiki/ - 2025. URL: https://stat.gov.kz. - Data obrashhenija: 04.05.2025. [in Russian]

4. Vasjajcheva V.A., Ivanushkina S.A. issledovanie jeffektivnosti obespechenija bezopasnosti truda na predprijatii //Vestnik Samarskogo universiteta. Jekonomika i upravlenie.- 2023.- T.14 (4).- S.22-28. DOI 10.18287/2542-0461-2023-14-4-22-28. [in Russian]

5. Prikaz Ministra truda i social’ noj zashhity naselenija Respubliki Kazahstan ot 11 sentjabrja 2020 goda № 363 Ob utverzhdenii Pravil upravlenija professional’ nymi riskami. URL: https://adilet.zan.kz. - Data obrashhenija: 04.05.2025. [in Russian]

6. Pomytkina T.E. Sostojanie zdorov’ ja rabotnikov pri proizvodstve soedinenij azotnoj gruppy (obzor literatury) //Gigiena i sanitarija. - 2014.- № 3. - S.39- 41. [in Russian]

7. Prikaz Ministra zdravoohranenija i social’ nogo razvitija Respubliki Kazahstan ot 28 dekabrja 2015 goda № 1057 «Ob utverzhdenii Pravil objazatel’ noj periodicheskoj attestacii proizvodstvennyh ob#ektov po uslovijam truda» URL: https://adilet.zan.kz. - Data obrashhenija: 04.05.2025. [in Russian]

8. Trudovoj kodeks Respubliki Kazahstan ot 23 nojabrja 2015 goda № 414-V (s izmenenijami i dopolnenijami po sostojaniju na 16.09.2025 g.) URL: https://adilet.zan.kz. - Data obrashhenija: 04.05.2025. [in Russian]

9. Prikaz Ministra zdravoohranenija Respubliki Kazahstan ot 20 dekabrja 2020 goda № ҚR DSM-284/2020. «Ob utverzhdenii porjadka registracii subektami zdravoohranenija okazyvajushhimi specializirovannuju medicinskuju pomoshh' v oblasti professional' noj patologii i jekspertizy po mestu ih vyjavlenija vseh sluchaev professional' nyh zabolevanij i (ili) otravlenij, v tom chisle podozrenij na professional' nye zabolevanija i (ili) otravlenija, obuslovlennye vozdejstviem na rabotnika vrednyh proizvodstvennyh faktorov v svjazi s vypolneniem rabotnikom svoih trudovyh (sluzhebnyh) objazannostej, libo inyh dejstvij, po sobstvennoj iniciative v interesah rabotodatelja, v tom chisle posle prekrashhenija trudovyh otnoshenij s rabotodatelem». URL: https://adilet.zan.kz. - Data obrashhenija: 05.05.2025. [in Russian]

10. Қазақстан Respublikasy Ykimetinің 2023 zhylғy 28 zheltoқsandaғy № 1182 Қaulysy Қазақстан Respublikasynyң 2024 – 2030 zhyldarға arnalған Қauipsiz eңbek tұzhyrymdamasyn bekitu turaly. URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300001182 - Data obrashhenija 05.05.2025. [in Kazakh]

Информация об авторах

Бекмагамбетов А.Б. - кандидат юридических наук, ассоциированный профессор, 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, Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Нуртай Ж.Т. - доктор PhD, ассоциированный профессор АО Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru;

Кульмагамбетова Э.А. - кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Абдрахманова Н.Б. - магистр наук в области безопасности жизнедеятельности и охраны окружающей среды, старший научный сотрудник Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан, e-mail: nazgul122@mail.ru;

Сагиндикова Н.Т. - магистр техники и технологии, старший научный сотрудник Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан, e-mail: nursag79@mail.ru;

Марчеллони Р. - магистр, Национальное страхование от несчастных случаев Итальянский институт, Рим, Италия, e-mail: r.marcelloni@inail.it.

Information about the authors

Bekmagambetov A.B. - Candidate of Law, Associate Professor, Republican Scientific Research Institute for Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: adilet1979@mail.ru;

Rakhmetova A.M. - Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Republican Scientific Research Institute for Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Nurtay J.T. - PhD, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru;

Kulmagambetova E.A. - Candidate of Chemical Sciences, Leading Researcher Republican Scientific Research Institute for Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Abdrakhmanova N.B. - Master of Science in the field of Life Safety and Environmental Protection Republican Scientific Research Institute for Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, Senior Researcher, e-mail: nazgul122@mail.ru;

Sagindikova N.T. - Master of Engineering and Technology, Senior Researche Republican Scientific Research Institute for

Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: nursag79@mail.ru;

Marcelloni R. - Master’ s degree,National Acciden Insurance Italian Institute, Rome, Italy e-mail: r.marcelloni@inail.it.

ҒТАМР 52.13.85 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-981**

ГАЗСЫЗДАНДЫРУ ҰҢҒЫМАЛАРЫНЫҢ СТАТИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫНЫҢ КОЭФФИЦИЕНТТЕРІН АНЫҚТАУ

Б. Рысбекқызы, Ж.Б. Кадирова✉, Л.Б. Қадырова

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,
✉Корреспондент-автор: ardak_janar@mail.ru

Газсыздандыру ұңғымалары шахталар мен карьерлерді тау-кен газдарының жиналуынан қорғау жүйесінің маңызды элементі болып табылады, бұл жұмысшылар үшін қауіпті жағдайлардың алдын алады және жарылыс қаупін азайтады. Газсыздандыру ұңғымаларын жобалау мен пайдаланудың негізгі аспектілерінің бірі олардың статикалық сипаттамаларын дұрыс бағалау болып табылады, мысалы, өнімділік коэффициенттері, сүзу және газды бұру тиімділігіне әсер ететін басқа параметрлер. Бұл мақалада вакуумды арттыру арқылы ұңғымадан метан шығынының тәуелділігі талданды. Вакуумның әртүрлі мәндеріндегі метан шығынын сипаттайтын метан-ауа қоспасының параметрлерін есептеу әдістемесін анықтау бойынша зерттеулер жүргізілді. Екі өлшеу нүктесі бойынша коэффициенттерді есептеу әдісі ұсынылған. Ұңғымадан метан шығынын өлшеу кезінде қажет болатын метан-ауа қоспасының параметрлерін есептеу формулалары алынды.

Түйін сөздер: шахталық газсыздандыру жүйесі, газдың көптігін төмендету, вакуум, метанның шығыны, ұңғыманың сипаттамалары, коэффициенттерді есептеу формуласы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН

Б. Рысбекқызы, Ж.Б. Кадирова✉, Л.Б. Кадырова

Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
e-mail: ardak_janar@mail.ru

Дегазационные скважины являются важным элементом системы защиты шахт и карьеров от скоплений горных газов, что предотвращает возникновение опасных ситуаций для работников и снижает риск взрывов. Одним из ключевых аспектов проектирования и эксплуатации дегазационных скважин является правильная оценка их статических характеристик, таких как коэффициенты продуктивности, фильтрации и другие параметры, которые влияют на эффективность газоотведения. В данной статье проведен анализ зависимости дебита метана из скважины за счет увеличения вакуума. Проведены исследования по определению методики расчета параметров метано-воздушной смеси, характеризующих расход метана при различных значениях вакуума. Предложен метод расчета коэффициентов по двум точкам замера. Получены формулы для вычисления параметров метано-воздушной смеси, которые необходимы при измерении дебита метана из скважины.

Ключевые слова: шахтная дегазационная система, снижение газообильности, вакуум, дебит метана, характеристики скважины, формула расчета коэффициентов.

DETERMINATION OF COEFFICIENTS OF STATIC CHARACTERISTICS OF DEGASSING WELLS

B. Rysbekkyzy, Zh.B. Kadirova✉, L.B. Kadyrova

Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: ardak_janar@mail.ru

Degassing wells are an important element of the mine and quarry protection system from accumulations of rock gases, which prevents dangerous situations for workers and reduces the risk of explosions. One of the key aspects of the design and operation of degassing wells is the correct assessment of their static characteristics, such as productivity coefficients, filtration and other parameters that affect the efficiency of gas extraction. This article analyzes the dependence of the methane flow rate from the well due to

an increase in vacuum. Studies have been conducted to determine the methodology for calculating the parameters of the methane-air mixture, characterizing the consumption of methane at various vacuum values. A method for calculating coefficients from two measuring points is proposed. Formulas have been obtained for calculating the parameters of the methane-air mixture, which are necessary when measuring the methane flow rate from a well.

Keywords: mine degassing system, reduction of gas abundance, vacuum, methane flow rate, well characteristics, coefficient calculation formula.

Кіріспе. Қазақстанда көмір шахталарын газсыздандыру және газсыздандыру ұңғымаларының статикалық сипаттамаларының коэффициенттерін анықтау мәселелері тау-кен өнеркәсібінің маңызды бөлігі болып табылады, әсіресе Қарағанды сияқты көмір бассейндерінде. Қазақстандағы ең ірілерінің бірі болып табылатын Қарағанды көмір бассейнінде құрамында метаны жоғары көмір қабаттары белсенді түрде игерілуде. Метанды тиімді өндіру және шахтаның қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін газсыздандырудың әртүрлі әдістері қолданылады, оның ішінде газсыздандыру ұңғымаларын бұрғылау [1,2]. Бұл ұңғымалардың статикалық сипаттамаларының коэффициенттерін анықтау олардың тиімділігін дәл бағалауға және газсыздандыру процестерін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Тиімді газсыздандыру тау-кен жұмыстарын қауіпсіз жүргізуді қамтамасыз ету және метан жарылыстарын болдырмау үшін өте маңызды. Метанды тиімді өндіру және шахтаның қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін газсыздандырудың әртүрлі әдістері қолданылады, соның ішінде газсыздандыру ұңғымаларын бұрғылау [3]. Газсыздандыру ұңғымаларының статикалық сипаттамаларының коэффициенттерін анықтау көптеген факторларды, соның ішінде геологиялық жағдайларды, тау жыныстарының қасиеттерін, газ ағынының параметрлерін және оның жер қойнауында қозғалу механизмдерін есепке алуды талап етеді. Бұл коэффициенттер дәл есептеулерді қамтамасыз етеді және газсыздандыру жұмыстарын оңтайландыруға, көмір және басқа тау-кен кен орындарын игерудің қауіпсіздігі мен экономикалық тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді [4]. Газсыздандыру жүйесін құрудың мақсаты - ұңғымалар арқылы метанның максималды мөлшерін алу және кен орындары мен кен орындарында метанның шығарылу дәрежесін төмендету.

Шахталық газсыздандыру кешенін басқарудың автоматтандырылған жүйесі объектінің уақыт бойынша өзгеретін статикалық және динамикалық сипаттамалары бар бақылау параметрлеріне сәйкес әсер ету арқылы газсыздандыру ұңғымаларынан метан алу мәселесін шешеді [5].

Материалдар мен әдістер. Шахтаның газсыздандыру жүйесінің сапасы мен тиімді жұмысын объективті бағалау үшін пайдаланылған метан-ауа қоспасының үш параметрінің мәні туралы ақпарат болуы қажет: газсыздандыру желісінің әртүрлі нүктелеріндегі вакуумның шамасы, метан-ауа желісінің ағынының жылдамдығы және ондағы метан концентрациясы [6].

Жалпы жағдайда $g_M = f(h)$ тәуелділігі экспоненциалды сипатқа ие және аналитикалық тәуелділік арқылы өрнектелуі мүмкін:

$$g_M = a – be^{-\alpha h} \quad (1)$$

мұндағы g_M – ұңғыдан шығатын метан шығыны, м^3/мин;

a - максималды мүмкін вакуумдағы метан шығынына сандық тең коэффициент, м^3/мин;

b - вакуумды h_0 = 0 ден h = hабс, м^3/мин дейін арттыру арқылы алынған метан мөлшеріне (өсу) сандық тең коэффициент;

α - вакуумның ұлғаюына байланысты метан шығынының ұлғаю қарқындылығын сипаттайтын коэффициент, *I* %вак;

h - ұңғыма сағасындағы вакуум (атмосфералық қысымға қатысты), %вак.

a, b, α коэффициенттері ұңғыма сипаттамалары болып табылады. Жұмыста [7] ұңғыма сағасындағы үш вакуумдық мәндер үшін a, b, α коэффициенттерін есептеу үшін аналитикалық өр-

нектер табылды. $h = h_0 = 0, h_1 = 0{,}5, h_2$ үшін өте қарапайым өрнектер алынған.

Нәтижелер және талқылау. a, b, α коэффициенттерін анықтаудың бұл әдісінің кемшілігі мынада:

- ұңғыма сағасындағы үш вакуумдық мәнде тәжірибелік деректерді алу қажеттілігі;

- h_1, h_2 қатаң көрсетілген үш мәнде арнайы өлшеулер жүргізу қажеттілігі.

Жоғарыда аталған кемшіліктерді жою және ұңғыма сипаттамаларын есептеу әдісін жетілдіру үшін авторлар үш емес, екі өлшеу нүктесін пайдаланып a, b, α коэффициенттерін анықтау әдісін ұсынады.

Ол үшін мына тұжырымды дәлелдейміз. Егер $y_1(x) = a_1(1 - e^{-\alpha 1x})$ және $y_2(x) = a_2(1 - e^{-\alpha 2x})$ функцияларының графиктеріне $x = x_1$ нүктесінде жанамалар салынса (1-сурет), онда $\alpha_1 = \alpha_2$ нүктесінде олар x осы бір $x = x_2$ нүктесінде қиылысады.

Дәлелдеу: $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ болған жағдайда $y_1(x)$, $y_2(x)$ функцияларының туындылары

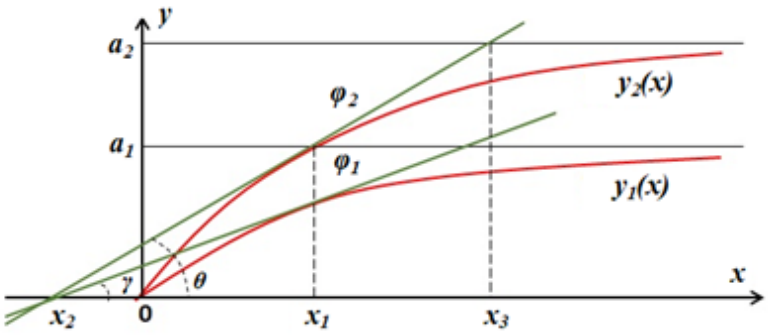
$$y_1'(x) = \alpha a_1 e^{-\alpha x} \qquad (2)$$

$$y_2'(x) = \alpha a_2 e^{-\alpha x}$$

Сонда $x=x_1$ үшін бізде бар

$$tg(\theta) = \alpha a_1 e^{-\alpha x1}$$

$$tg(\theta) = \alpha a_2 e^{-\alpha x1}$$



1 - сурет. $y_1(x)$, $y_2(x)$ функция графигі

Берілген тәуелділіктен (1) және жұмыста берілген шарттардан [8] a, b және α коэффициенттері үшін, үш вакуумдық мәндер үшін аналитикалық өрнектерді аламыз:

$$h_0 = 0, h_1 = 0.5h_2, h_2$$

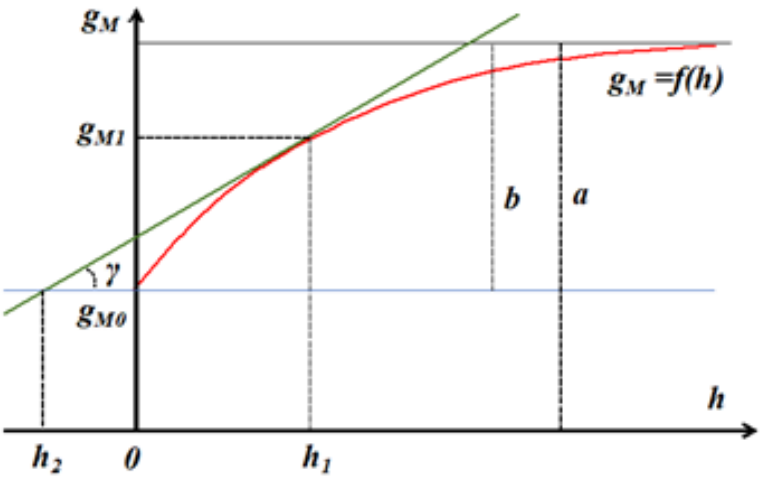
Бұл мәндерді негізгі теңдеуге ауыстырсақ, біз мынаны аламыз:

$$\begin{aligned} g_{M0} &= a - be^{-\alpha h_0} = a - b, \\ g_{M1} &= a - be^{-\alpha h_1}, \\ g_{M2} &= a - be^{-\alpha h_2} \end{aligned} \qquad (3)$$

$a = g_{M0} + b$, екінші және үшінші теңдеулерге (3) ауыстырып, b және α коэффициентін есептеуге арналған теңдеулер жүйесін аламыз.

$$\begin{aligned} g_{M1} &= (g_{M0} + b) - be^{-\alpha h_1}, \\ g_{M2} &= (g_{M0} + b) - be^{-\alpha h_2} \end{aligned} \qquad (4)$$

Бұл есептеулер (4) мүмкіндік береді: газсыздандыру ұңғымаларының жеке сипаттамаларын анықтауға, әртүрлі деңгейдегі вакуумдаудың тиімділігін бағалауға, вакуум өзгерген кезде метан шығынын болжауға. Осылайша, әртүрлі вакуумдарда үш өлшемді қолдана отырып, шахтаның газсыздандыру жүйесінің тиімділігін сандық бағалауға және әртүрлі жағдайларда ұңғыманың өнімділігін болжауға болады.



2 - сурет. Газсыздандыру ұңғымаларының статикалық сипаттамаларының коэффициенттерін анықтау

Әрі қарай, олар *x* осімен x_2', x_2'' әр түрлі нүктелерінде қиылысады деп есептеп, жанамалардың теңдеулерін құрастырамыз

$$\varphi_1 = (x - x_2')\,\alpha a_1 e^{-ax_1}$$

$$\varphi_2 = \left(x - x_2''\right)\alpha a_2 e^{-ax_1}$$

$\alpha_1 = \alpha_2$болғандықтан, онда $x = x_3$ үшін бізде (көрсеткіштердің белгілі қасиеті)

$$\begin{aligned}\varphi_1(x_3) &= a_1,\\ \varphi_2(x_3) &= a_2\end{aligned} \qquad (5)$$

$\varphi_1(x_3)$ ді $\varphi_2(x_3)$ бөліп нәтижесінде (5) ескере отырып аламыз

$$\frac{(x_3 - x_2')\alpha a_1 e^{-\alpha x_1}}{(x_3 - x_2'')\alpha a_2 e^{-\alpha x_1}} = \frac{a1}{a2}$$

Бірқатар қысқартулардан кейін бізде шығады:

$$\frac{x_3 - x_2'}{x_3 - x_2''} = 1 \qquad (6)$$

Яғни φ_1, φ_2 жанамалары *x* осін бір нүктеде қиып өткен жағдайда, (6) өрнек $x_2' = x_2''$, болғанда ғана жарамды.

Осылайша, мәлімдеме дәлелденді.

Бұдан шығатыны, яғни *α* берілген x_1 нүктесіндегі x_2 нүктесінің орнына тәуелді.

$$\alpha = F(x_1\ ,\ x_2)$$

1. - ші өрнек үшін *a* коэффициентін анықтау әдісін қарастырайық (2-сурет). Ол үшін [9] формуласы арқылы жанаманың $q_M = q_{M0}$ түзуімен қиылысуының h_2 нүктесін табамыз

$h_1 + h_2 = \frac{q_{M1} - q_{M0}}{tg\gamma}$,

мұндағы

$$tg\gamma = \frac{q_M}{h}/h = h_1$$

$\frac{q_M}{h}$ өсімін анықтау әдісі [10] берілген.

α коэффициенті *b* мәніне тәуелді емес болғандықтан (1-сурет), онда (1) және (2) негізінде a=1 үшін мынаны аламыз:

$$h_1 + h_2 = \frac{1 - e^{-\alpha h_1}}{\alpha e^{-\alpha h_1}} = \frac{1}{2}\left(e^{\alpha h_1} - 1\right) \qquad (7)$$

$e^{\alpha h_1}$ функциясын келесі түрдегі дәрежелік қатарға кеңейтейік:

$$e^{\alpha h_1} = 1 + \alpha h_1 + \frac{(\alpha h_1)^2}{2!} + \ldots + \frac{(\alpha h_1)^n}{n!} + \ldots \qquad (8)$$

(7) –ні (8) –ге қойып, нәтижесінде аламыз:

$$h_1 + h_2 = \frac{1}{2}\left(\alpha h_1 + \frac{(\alpha h_1)^2}{2!} + ... + \frac{(\alpha h_1)^n}{n!} + ...\right) = h_1 + \frac{(\alpha h_1)^2}{2!} + ... + \frac{\alpha^{n-1} h_1^n}{n!} + ... =$$
$$h_1\left(1 + \frac{\alpha h_1}{2!} + \frac{(\alpha h_1)^2}{3!} + ... + \frac{(\alpha h_1)^n}{(n+1)!} + ... h_1 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\alpha h_1)^n}{(n+1)!}\right) \quad (9)$$

$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(\alpha h_1)^n}{(n+1)!}$ қатарын мүшелерді көбейтудің нәтижесі ретінде қарастыруға болады.

[11] қатарлар

$$1 + \frac{(\alpha h_1)}{1!} + \frac{(\alpha h_1)^2}{2!} + ... + \frac{(\alpha h_1)^n}{n!} + ...$$

Тізбек мүшелеріне

$$1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, ..., \frac{1}{n} ...; \quad (10)$$

(10) монотонды түрде кемитін тізбек бүкіл сан осінде нөлге ұмтылатындықтан, $\sum \frac{(\mathbf{h_1})^{\mathbf{n}}}{(\mathbf{n+1})!}$ Абель критерийінің шарттарын қанағаттандырады және сондықтан бүкіл сан осіне біркелкі жинақталады. Сонымен қатар, $\sum \frac{(\alpha h_1)^n}{(n+1)!}$ қатарының қосындысы төменде $ee^{\frac{\alpha h_1}{2}}$ функциясымен, ал жоғарыдан $e^{\alpha h_1}$ функциясымен шектелген. Компьютерде [12] жүргізілген есептеулер $\sum \frac{(\alpha h_1)^n}{(n+1)!}$ қатары екенін көрсетті $e^{\frac{\alpha h_1}{1,66}}$ жуықтау функциясымен ұсынылуы мүмкін.

(9) өрнегі келесі түрде болады

$h_1 + h_2 \approx h_1 e^{\frac{\alpha h_1}{1.66}}$

Әрі қарай логарифмдеп аламыз

$$\ln \frac{h_1 + h_2}{h_1} \approx \frac{\alpha h_1}{1.66}$$

Мұндағы

$$\alpha \approx \frac{1.66}{h_1} ln \frac{h_1 + h_2}{h_1} \quad (11)$$

b коэффициенті теңдеуден анықталады

$$q_{M1} - q_{M0} = b(1 - e^{-\alpha h_1})$$

Мұндағы

$$b = \frac{q_{M1} - q_{M0}}{1 - e^{-\alpha h_1}} \quad (12)$$

(9)-ды (10)-ға қою арқылы аламыз

$$b = (q_{M1} - q_{M0})(1 - e^{-1.66 ln \frac{h_1 + h_2}{h_1}})^{-1} = (q_{M1} - q_{M0})\left[1 - (\frac{h_1 + h_2}{h_1})^{-1.66}\right]^{-1}$$

Коэффициент

$$a = b + q_{M0} = q_{M0} + (q_{M1} - q_{M0})\left[1 - \left(\frac{h_1 + h_2}{h_1}\right)^{-1.66}\right]^{-1}$$

Қорытынды. Қазақстанда көмір шахталарын газсыздандыру әдістерін жетілдіруге және тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігі мен тиімділігін арттыруға көмектесетін газсыздандыру ұңғымаларының статикалық сипаттамаларының коэффициенттерін дәл анықтауға бағытталған ғылыми-зерттеу және тәжірибелік-конструкторлық жұмыстар белсенді жүргізілуде. Екі өлшеу нүктесінен коэффициенттерді есептеудің ұсынылған әдісі ұңғымалардың си-

паттамаларын арнайы өлшемдерсіз анықтауға мүмкіндік береді.

Метан-ауа қоспасының параметрлерін есептеу үшін формулалар алынды, олар ұңғыма сағасындағы ерікті вакуумдық мәндерде ұңғымалардың сипаттамаларын есептеуге мүмкіндік береді. Алынған формулаларды газсыздандыруды бақылау және басқарудың автоматтандырылған жүйелерінде пайдалану арнайы өлшеулер жүргізбей-ақ оңтайландыру процесінде ұңғымалардың сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер

1. Дрижд Н.А., Камаров Р.К., Усенбеков М.С., Ахматнуров Д.Р. Исследование и пути совершенствования дегазационных работ для комплексного развития угольной промышленности: Монография // Караганда: Издательство КарГТУ. - 2017. - 242 с. ISBN 978-601-320-026-2

2. Drizhd N. A. [et al.]. Coalbed methane of Karaganda basin in the gas balance of the Republic of Kazakhstan: Status and prospect, Karaganda state technical university// Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. - 2017. - № 1. - P. 12-20.

3. GoncharoV.V., Tsirel S.V. Geodynamic methods for estimating methane distribution in coal deposits and measures to intensify methane flows using downhole degassing methods // Notes of the Mining Institute. - 2016. - T.222. - P.803-808. DOI 10.18454/PMI.2016.6.803.

4. Каркашадзе Г.Г., Ермак Г.П., Ютяев Е.П. Безопасная отработка газоносных угольных пластов по газовому фактору на основе учета свойств углепородного массива и параметров системы разработки // Горный информационно-аналитический бюллетень. Издательство «Горная книга». - 2014. - № 5. - С.152-156.

5. Сластунов С. В., Мазаник Е. В., Садов А. П., Хаутиев А. М.-Б. Апробация технологии комплексной дегазационной подготовки угольного пласта на базе его гидрорасчленения через скважины с поверхности // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2020. - № 2.- С.58-70. DOI 10.25018/0236-1493-2020-2-0-58-70.

6. Золотых С.С., Заблаговременная дегазация угольных пластов как фактор повышения безопасности на шахтах кузбасса // Горная Промышленность. - 2019. - № 5. -С.18-22. DOI 10.30686/1609-9192-2019-05-18-22.

7. Шатохин В.Н. Исследование и разработка методов и средств автоматизации шахтных дегазационных систем/ Дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук по спец.05.198- Автоматизация производственных процессов в горной промышленности. - 1971. - 145с.

8. Звягильский Е.Л., Бокий Б.В. Пути совершенствования технологических схем дегазации // Уголь. - 2007. - № 12.- С.17-22.

9. Карпов Е. Ф., Рязанов А. В. Автоматизация и контроль дегазационных систем/ М.: Недра. - 1983. - 190 с.

10. Бырька В. Ф., Местер И. М. Максимизация извлечения метана в шахтных дегазационных системах // Известия вузов. Горный журнал. - 1970. - № 10. - С.19-24.

11. Ильин В.А. Основы математического анализа: Учебник для ВУЗов. В.2-х ч. Ч.1: Учебник для вузов / М.: Физматлит. - 2014. - 648 с. ISBN 978-5-9221-0902-4.

12. Burlutskii E. An assessment of the effectiveness of the analytical methods to fracture propagation control using accurate mathematical modelling // Journal of Natural Gas Science and Engineering. - 2019. - Vol.62. - P.294 -301. DOI 10.1016/j.jngse.2018.12.017.

References

1. Drizhd N.A., Kamarov R.K., Usenbekov M.S., Ahmatnurov D.R. Issledovanie i puti sovershenstvovanija degazacionnyh rabot dlja kompleksnogo razvitija ugol' noj promyshlennosti: Monografija // Karaganda: Izdatel' stvo KarGTU. - 2017. - 242 s. ISBN 978-601-320-026-2. [in Russian]

2. Drizhd N. A. [et al.]. Coalbed methane of Karaganda basin in the gas balance of the Republic of Kazakhstan: Status and prospect, Karaganda state technical university// Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. - 2017. - № 1. - P. 12-20.

3. GoncharoV.V., Tsirel S.V. Geodynamic methods for estimating methane distribution in coal deposits and measures to intensify methane flows using downhole degassing methods // Notes of the Mining Institute. - 2016. - T.222. - P.803-808. DOI 10.18454/PMI.2016.6.803.

4. Karkashadze G.G., Ermak G.P., Jutjaev E.P. Bezopasnaja otrabotka gazonosnyh ugol' nyh plastov po gazovomu faktoru na osnove ucheta svojstv ugleporodnogo massiva i parametrov sistemy razrabotki // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. Izdatel' stvo «Gornaja kniga». - 2014. - № 5. - S.152-156. [in Russian]

5. Slastunov S. V., Mazanik E. V., Sadov A. P., Hautiev A. M.-B. Aprobacija tehnologii kompleksnoj degazacionnoj podgotovki ugol' nogo plasta na baze ego gidroraschlenenija cherez skvazhiny s poverhnosti // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. - 2020. - № 2.- S.58-70. DOI 10.25018/0236-1493-2020-2-0-58-70. [in Russian]

6. Zolotyh S.C., Zablagovremennaja degazacija ugol' nyh plastov kak faktor povyshenija bezopasnosti na shahtah kuzbassa // Gornaja Promyshlennost'. - 2019. - № 5. -C.18-22. DOI 10.30686/1609-9192-2019-05-18-22. [in Russian]

7. Shatohin V.N. Issledovanie i razrabotka metodov i sredstv avtomatizacii shahtnyh degazacionnyh sistem/ Diss. na soisk. uchen. stepeni kand. tehn. nauk po spec.05.198- Avtomatizacija proizvodstvennyh processov v gornoj promyshlennosti. - 1971. - 145c.

8. Zvjagil' skij E.L., Bokij B.V. Puti sovershenstvovanija tehnologicheskih shem degazacii // Ugol'. - 2007. - № 12. - S.17-22. [in Russian]

9. Karpov E. F., Rjazanov A. V. Avtomatizacija i kontrol' degazacionnyh sistem/ M.: Nedra. - 1983. - 190 s. [in Russian]

10. Byr' ka V. F., Mester I. M. Maksimizacija izvlechenija metana v shahtnyh degazacionnyh sistemah // Izvestija vuzov. Gornyj zhurnal. - 1970. - № 10.- S.19-24.

11. Il' in V.A. Osnovy matematicheskogo analiza: Uchebnik dlja VUZov. V.2-h ch. Ch.1: Uchebnik dlja vuzov / M.: Fizmatlit. - 2014. - 648 c. ISBN 978-5-9221-0902-4. [in Russian]

12. Burlutskii E. An assessment of the effectiveness of the analytical methods to fracture propagation control using accurate mathematical modelling // Journal of Natural Gas Science and Engineering. - 2019. - Vol.62. - P.294 -301. DOI 10.1016/j.jngse.2018.12.017.

Авторлар туралы мәліметтер

Рысбекқызы Бакытгүл - PhD, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің доцент м.а., Қарағанды, Қазақстан, e-mail: bakhytgulz@mail.ru;

Кадирова Ж. Б. - аға оқытушы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, ardak_janar@mail.ru;

Кадырова Л. Б. - аға оқытушы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, kadyrova.l86@mail.ru.

Information about the authors

Rysbekkyzy B. - PhD, Acting Associate Professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,

e-mail:Bakhytgulz@mail.ru;

Kadirova Zhanar B. - senior lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, ardak_janar@mail.ru;

Kadyrova L. B. - senior lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, kadyrova.l86@mail.ru.

МРНТИ 61.51.35 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-848**

ПОЛУЧЕНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИЦИОННОЙ ДЕПРЕССОРНОЙ ПРИСАДКИ

[1]А.Р. Бегимова, [1]Ж.К. Надирова✉, [2]А.А. Сулейманов, [1]М.К. Жантасов, [3]Ж.У. Икласова

[1]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,
[2]Азербайджанский Государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан,
[3]Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан
✉*Корреспондент-автор: zhanna.nadirova@inbox.ru*

Основной целью работы является исследование влияние композиционной депрессорной присадки на свойства высокопарафинистой нефти месторождения Коныс, в частности, на её температуру потери текучести и кинематическую вязкость. Задачи исследования включают сравнение депрессорной активности композиционной депрессорной присадки с исходными присадками на основе малеинового ангидрида и этаноламина, а также бутилового эфира и линолевой кислоты с точки зрения влияния на температуру потери текучести и кинематическую вязкость. Установлено депрессорное действие продуктов синтеза, определено синергетическое действие компонентов в составе реагента по отношению к парафинистой нефти.

Результаты исследований показали, что применение присадок на основе малеинового ангидрида и этаноламина, а также бутилового эфира и линолевой кислоты значительно улучшает текучесть нефти. Температура застывания нефти снижается, что позволяет транспортировать нефть при более низких температурах. Были проведены сопоставительные результаты использования различных присадок органического происхождения в сопоставлении с композиционной депрессорной присадкой с точки зрения эффективности снижения температуры застывания и вязкости нефти. Полученные результаты подчеркивают потенциал использования разработанной нами добавки для улучшения реологических свойств нефти.

Ключевые слова: парафинистая нефть, температура застывания, депрессия, присадки, малеиновый ангидрид, этаноламин, бутиловый эфир, линолевая кислота, температура потери текучести, кинематическая вязкость.

КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ ДЕПРЕССОРЛЫҚ ҚОСПАНЫ АЛУ ЖӘНЕ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

[1]А.Р. Бегимова, [1]Ж.К. Надирова✉, [2]А.А. Сулейманов, [1]М.К. Жантасов, [3]Ж.У. Икласова

[1]М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,
[2]Әзірбайжан мемлекеттік мұнай және өнеркәсіп университеті, Баку, Әзірбайжан,
[3]С. Утебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Казахстан,
e-mail: zhanna.nadirova@inbox.ru

Жұмыстың негізгі мақсаты - композициялық депрессорлық қоспаның Коныс кен орындағы жоғары парафинді мұнайының қасиеттеріне, атап айтқанда оның сұйықтықты жоғалту температурасына және кинематикалық тұтқырлығына әсерін зерттеу. Зерттеудің міндеттеріне композициялық депрессорлық қоспаның депрессорлық белсенділігін малеин ангидриді мен этаноламинге негізделген бастапқы қоспалармен, сондай-ақ бутил эфирі мен линол қышқылымен сұйықтықтың жоғалу температурасына және кинематикалық тұтқырлыққа әсер ету тұрғысынан салыстыру кіреді. Синтез өнімдерінің депрессорлық әсері, сонымен қатар парафинді мұнайға қатысты реагент құрамындағы компоненттердің синергетикалық әсері анықталды.

Зерттеу нәтижелері малеин ангидриді мен этаноламин негізіндегі қоспаларды, сондай-ақ бутил эфирі мен линол қышқылын қолдану мұнай ағынын айтарлықтай жақсартатынын көрсетті. Мұнайдың қатаю температурасы мен ағымдағы төмендету тиімділігі тұрғысынан композициялық депрессорлық қоспамен салыстыра отырып, әртүрлі органикалық қоспаларды қолданудың салыстырма-

лы нәтижелері жүргізілді. Алынған нәтижелерге сәйкес мұнайдың реологиялық қасиеттерін жақсарту үшін біз әзірлеген қоспаны пайдалану әлеуетін көрсетеді.

Түйін сөздер: парафинді мұнай, қатаю температурасы, депрессия, қоспалар, малеин ангидриді, этаноламин, бутил эфирі, линол қышқылы, ағымдағы сұйықтықтың жоғалу температурасы, кинематикалық тұтқырлық.

PREPARATION AND COMPARATIVE ANALYSIS OF A COMPOSITE DEPRESSOR ADDITIVE

[1]A.R. Begimova, [1]Zh.K. Nadirova✉, [2]A.A. Suleymanov, [1]M.K. Zhantasov, [3]Zh.U. Iklasova

[1]M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,
[2]Azerbaijan State University of Petroleum and Industry, Baku, Azerbaijan,
[3]S.Utebayev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan,
e-mail: zhanna.nadirova@inbox.ru

The main purpose of this work is to study the effect of a composite depressant additive on the properties of high-paraffin oil from the Konys field, in particular, on its flow loss temperature and kinematic viscosity. The objectives of the study include comparing the depressive activity of the composite depressor additive with the initial additives based on maleic anhydride and ethanolamine, as well as butyl ether and linoleic acid in terms of the effect on the temperature of yield loss and kinematic viscosity. The depressive effect of the synthesis products has been established, and the synergistic effect of the components in the reagent composition in relation to paraffin oil has been determined. The research results have shown that the use of additives based on maleic anhydride and ethanolamine, as well as butyl ether and linoleic acid, significantly improves oil fluidity. The solidification temperature of the oil is reduced, which allows oil to be transported at lower temperatures.

Comparative results of using various additives of organic origin in comparison with a composite depressant additive were carried out in terms of the effectiveness of reducing the pour point and viscosity of oil. The results obtained highlight the potential of using the additive we have developed to improve the rheological properties of oil.

Keywords: paraffin oil, pour point, depression, additives, maleic anhydride, ethanolamine, butyl ether, linoleic acid, loss temperature, kinematic viscosity.

Введение. Транспортировка нефти представляет собой одну из ключевых задач нефтяной промышленности Казахстана, особенно учитывая уникальные свойства нефти, добываемой в регионе [1]. Нефть, извлекаемая из месторождений Кзылординского региона, отличается высокой вязкостью, парафинистостью и склонностью к образованию эмульсий. Эти особенности создают значительные технические и экономические проблемы при транспортировке нефти по трубопроводам. Одной из наиболее серьезных проблем при транспортировке нефти в Казахстане является образование парафиновых отложений в трубопроводах. Парафиновые отложения могут блокировать трубопроводы, вызывая значительные перепады давления и увеличивая затраты на транспортировку [2-4]. В некоторых случаях блокировки требуют значительных затрат на ремонт трубопроводов, что дополнительно увеличивает общие эксплуатационные расходы [5].

Для предотвращения блокировок и поддержания текучести нефти вдоль трубопроводов устанавливаются нагревательные станции. Например, на магистральном трубопроводе от насосной станции «Джумагалиева» на юг к Павлодару нагревательные станции расположены вдоль всей длины трубы. Эти станции поддерживают температуру нефти на уровне, подходящем для транспортировки в зимний период [6]. Однако проблема заключается в том, что казахстанская нефть может быть настолько вязкой, что её температура застывания может достигать +30 °C [7]. Это означает, что нагревательные станции долж-

ны работать круглогодично, что влечет за собой значительные энергетические затраты для нефтетранспортных компаний [8]. В зимнее время года, когда температуры в Центральном Казахстане могут достигать -10 °С и ниже, транспортировка нефти без систем отопления становится практически невозможной. Нефтепроводы проложены глубоко под землей, где отрицательные температуры могут сохраняться гораздо дольше, и парафиновые отложения быстро накапливаются и затвердевают.

В результате, дополнительное оборудование и методы для обеспечения текучести нефти становятся жизненно необходимыми. Кроме того, на многих месторождениях период нефтеотдачи некоторых скважин составляет 2–10 суток [9]. Таким образом, перевозка нефти и нефтяных смесей в холодное время года без присадок экономически нецелесообразна. Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что исследователи уделяют большое внимание проблеме, снижения высокой вязкости и парафинистости казахстанской нефти, особенно в холодное время года. В частности, до сих пор не решены вопросы, связанные с ликвидацией парафиновых отложений в трубопроводах, что может привести к блокировке и увеличению затрат на транспортировку.

Это предопределяет необходимость использования нагревательных станций для поддержания круглогодичной текучести нефти, что влечет за собой значительные энергетические затраты. Актуальность исследований заключается в поиске решений для этой проблемы, в частности, в исследовании влияния композиционной депрессорной присадки (КДП) на свойства (температура потери текучести и кинематическая вязкость) нефти.

Материалы и методы. Для синтеза КДП использовали следующие реагенты: линолевая кислота, малеиновый ангидрид; этаноламин; бутиловый спирт.

Указанные выше реагенты для получения присадок были приобретены по коммерческой цене у следующих поставщиков: линолевая кислота (ТОО «Мембран», Казахстан); малеиновый ангидрид (ТОО «Лаборфарма», Казахстан); этаноламин (ТОО «Лаборфарма», Казахстан), бутиловый спирт для получения эфира (ТОО «Мембран», Казахстан).

Получение присадки на основе малеинового ангидрида и моноэтаноламина (МАЭ) осуществляли путем радикальной сополимеризации малеинового ангидрида и этаноламина в молярном соотношении 1:1, так как именно это соотношение обеспечивает эффективное взаимодействие между карбоксильной группой малеинового ангидрида и аминогруппой этаноламина. В качестве инициатора радикальной полимеризации использовали дибензоилпероксид. Реакцию проводили при температуре 90 ^{o}С, время реакции составляло 8 часов. После завершения реакции остатки инициатора отфильтровывали, а растворитель упаривали до выделения целевого продукта. После завершения реакции продукт очищали от катализатора и непрореагировавших веществ путем дистилляции.

Получение присадки БЭЛК (бутиловый эфирлинолевой кислоты) осуществляли путем реакции этерификации линолевой кислоты с бутиловым спиртом с в соотношении 1:1. Эта реакция конденсации, при которой выделяется вода. Для ускорения реакции этерификации использовали кислотный катализатор, в частности, серную кислоту. Реакцию проводили при повышенной температуре 140 ^{O}С и давлении 0,7-0,8 МПа.

Получение КДП осуществляли путем синтеза МАЭ и БЭЛК при температуре 137-142 ^{O}С и давлении 0,7-0,8 МПа в соотношении 1:1. В лабораторных условиях синтез проводили в реакторе высокого давления из нержавеющей стали, который снабжен магнитной мешалкой, контактным термометром и обратным холодильником.

Методологию процесса и аппаратурное оформление для определения физико-химических свойств нефти, таких как вязкость, текучесть и других, проводили в соответствии со СТ РК 1347-2024 [9].

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современных методов анализа, математической обработкой результа-

тов, лабораторными испытаниями. Контрольно-измерительные приборы, которые использовались для регистрации параметров технологических процессов, прошли текущий метрологический контроль.

Результаты и обсуждение. Для сравнительной оценки депрессорной активности полученной КДП и отдельно составляющих ее присадок (МАЭ и БЭЛК) использовали высокопарафинистую нефть месторождения Коныс (таблица 1).

Таблица 1 - Физико-химические показатели качества нефти месторождения Коныс

Показатель	Единица измерения	Значение
Плотность	кг/м3	833
Содержание парафинов	%	11,5
Содержание смол	%	0,69
Содержание асфальтенов	%	0,19
Содержание воды	%	7,5
Содержание хлоридов	мг/л	18
Содержание механических примесей	%	0,002

Таблица 2 - Депрессорная активность присадок в нефти месторождения Коныс

Вид пробы	Концентрация присадки, %	Температура потери текучести, °С	Кинематическая вязкость при 20°С, мм^2/с
Исходная нефть	0	10	18,1
	термообработка до 60^{0}С	7	16,4
МАЭ	0,01	-5	12,7
	0,02	-8	10,8
	0,03	-10	8,7
БЭЛК	0,01	-5	13,4
	0,02	-7	12,1
	0,03	-8	9,6
КДП	0,01	-9	10,1
	0,02	-10	8,4
	0,03	-13	6,8

Анализируя данные, приведенные в таблице 1, можно прийти к выводу, что нефть месторождения Коныс относится к легким нефтям с низким содержанием смол и асфальтенов, но с заметной долей парафинов, что может влиять на ее стабильность и свойства при транспортировке и переработке.

Результаты по определению реологических свойств нефти в присутствии потенциальных депрессорных присадок приведены в таблице 2.

Данные таблицы 2 показывают, что значения показателей температуры потери текучести и

кинематической вязкости для КДП выше, чем для присадок МАЭ и БЭЛК. При этом для всех видов присадок оптимальной является концентрация присадки 0,03 %, дальнейшее ее увеличение незначительно влияет на реологические свойства, в связи с чем экономически не целесообразно. Физико-химические показатели нефти, такие как вязкость, текучесть и другие определяли по Наилучшие показатели изменения депрессии для КДП составляют с 10 до -13 ^{O}C, при этом вязкость понизилась с 18,1 до 6,8 мм^2/с. В случае добавления присадки МАЭ температура потери текучести опустилась до -10 ^{0}C, а кинематическая вязкость уменьшилась до 8,7 мм^2/с. Для присадки БЭЛК лучший показатель температуры потери текучести составил -8 ^{0}C, а вязкость уменьшилась до 9,6 мм^2/с.

Далее нами были проведены сопоставительные результаты использования различных присадок органического происхождения (таблица 3) в сопоставлении с присадкой КДП, с точки зрения эффективности снижения температуры застывания и вязкости нефти.

Таблица 3 - Сравнительный анализ присадки КДП и коммерческих реагентов

Добавка	Снижение температуры застывания, %	Снижение вязкости, %	Литературный источник
Гексилолеат-со-гексадецилмалеимид-со-алкилолеат	27	86,5	[10]
Три-триэтаноламина диолеат	54	90	[11]
Сополимер поли (бензиолеата-янтарного ангидрида)	75	56,3	[12]
Масло каучуковых семян	82,5	60,5	[13]
Масло семян ятрофы	86,3	64,6	
Касторовое масло семян	83,8	64,2	
Триэтаноламин	75,0	45,9	
Поли(метилметакрилат) с оксидом графена	77,8	82,2	[14]
Этиленвинилацетат с SiO2	100	95,5	
Поли(2-этилгексилакрилат) с оксидом графена	50,0	99,2	
Сополимер этилена и винилового спирта с оксидом графена	62,5	99,5	
КДП	230,0	62,4	Наше исследование

Добавка три-триэтаноламина диолеат снижает вязкость на 90% и температуру застывания на 54%, что делает её одной из самых эффективных по обоим параметрам. Масло семян ятрофы и касторовое масло семян также показывают высокую эффективность, снижая температуру застывания на 86,3% и 83,8% соответственно, и вязкость на 64,6% и 64,2%. Сополимер поли (бензиолеата-янтарного ангидрида) и триэтаноламин также являются эффективными, но уступают по снижению вязкости. Поли(метилметакрилат) с оксидом графена снизил температуру застывания на 77,8% и вязкость на 82,2%, показывая высокую эффектив-

ность по обоим параметрам. Этиленвинилацетат с SiO_2 продемонстрировал снижение температуры застывания более чем на 100% и вязкости на 95,5%, что делает его достаточно эффективной добавкой. Поли(2-этилгексилакрилат) с оксидом графена показал снижение температуры застывания на 50% и вязкости на 99,2%, что подчеркивает его высокую эффективность в снижении вязкости. Сополимер этилена и винилового спирта с оксидом графена продемонстрировал снижение температуры застывания на 62,5% и вязкости на 99,5%, что делает его одним из наиболее эффективных по снижению вязкости. Разработанная нами присадка КДП имеет наиболее значительное снижение температуры застывания (230%), однако её эффективность по снижению вязкости (62,4%) уступает по сравнению с органическими добавками. Эти результаты подчеркивают потенциал использования разработанной нами добавки для улучшения реологических свойств нефти.

Выводы. Установлено депрессорное действие продуктов синтеза и определение синергетического действия компонентов в составе композиционной присадки по отношению к парафинистой нефти. Установлены зависимости состава и выхода получаемых депрессорных присадок от условий синтеза при реализации химических реакций смеси жирных кислот с бутиловым спиртом (этерификация) эфиров, жирных кислот (линолевой) с малеиновым ангидридом и моноэтаноламином. Результаты исследований показали, что применение присадок на основе малеинового ангидрида и этаноламина, а также бутилового эфира и линолевой кислоты значительно улучшает текучесть нефти. Сравнительный анализ полученной композиционной депрессорной присадки и коммерческих реагентов показал ее высокую эффективность по снижению вязкости нефти. Поскольку в условиях Казахстана трубопроводный транспорт играет стратегически важную роль, обеспечивая связь между месторождениями и перерабатывающими предприятиями, запуск собственного производства депрессорных присадок и композиционных реагентов позволит снизить зависимость отечественных предприятий, от ввоза импортной продукции.

Финансирование. *Данные исследования были выполнены при поддержке Комитета науки МНВО РК, Программа BR24992809.*

Литература

1. Chala G.T., Sulaiman S.A., Japper-Jaafar A. Flow start-up and transportation of waxy crude oil in pipelines-A review//Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics.-2018.-Vol.251.-P.69-87. DOI 10.1016/j.jnnfm.2017.11.008

2. Nadirov K.S., Zhantasov M.K., Marenov B.T., Bombetova G.Zh. et al. Obtaining High-Paraffin-Content Oil Depressants//Chemical Engineering and Technology.-2021.-Vol.44(2).-P.310-317. DOI 10.1002/ceat.202000366

3. Zhang F., Ouyang J., Feng X., Zhang H., Xu L.Paraffin deposition mechanism and paraffin inhibition technology for high-carbon paraffin crude oil from the Kazakhstan PK oilfield// Petroleum Science and Technology.-2014.-Vol.32 (4).-P.488-496. DOI 10.1080/10916466.2011.596883

4. Mun G.A., Bekbassov T., Beksultanov Z., Yermukhametova B.B., Azhgaliyev B., Azhgaliyev N., Dergunov S.A. Modified graft copolymers based on ethylene vinyl acetate as depressants for waxy crude oil and their effect on the rheological properties of oil//Journal of Petroleum Science and Engineering.-2022.-Vol.213:110298. DOI 10.1016/j.petrol.2022.110298

5. El-Dalatony M.M., Jeon B-H., Salama El-S., Eraky M., Kim W.B., Wang J., Jihoon W., Ahn T. Occurrence and characterization of paraffin wax formed in developing wells and pipelines// Energies.-2019.-Vol.12 (6): 967. DOI 10.3390/en12060967

6. Li W., Li H., Da H., Hu K., Zhang Y., Teng L. Influence of pour point depressants (PDDs) on wax deposition: A study on wax deposit characteristics and pipeline pigging//Fuel Processing Technology.-2021.-Vol.217: 106817. DOI 10.1016/j.fuproc.2021.106817

7. Kozhabekov S.S., Zhubanov A.A., Toktarbay Zh. Study the rheological properties of waxy oil with modified pour point depressants for the South Turgai oil Field in Kazakhstan//Oil and Gas Science and Technology.-2019.-Vol.74: 28. DOI 10.2516/ogst/2019004

8. Rehan M., Nizami A-S., Taylan O., Al-Sasi B.O., Demirbas A. (2016). Determination of wax content in crude oil//Petroleum Science and Technology.-2016.-Vol.34(9).- P.799-804. DOI 10.1080/10916466.2016.1169287.

9. СТ РК 1347-2024. Нефть. Общие технические условия. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=36721756.- Дата обращения: 12.01.2025

10. Лебедев Н. Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. - М.: Химия, 1988. - 588с. ISBN 5-7245-0008-6

11. Дьячкова Т.П., Орехов В.С., Брянкин К.В., Субочева М.Ю. Химическая технология органических веществ: учебное пособие.- Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. - Ч.2. - 100с. ISBN 978-5-8265-0649-3

12. Хамдамов М.Б. Исследование возможности совершенствования технологии производства жирных кислот из хлопковых соапстоков // Research and education, 2022.- №1(2).-С.385-388.

13. Гост межгосударственный iso/ts стандарт 17764-1-2015. URL https://meganorm.ru/Data2/1/4293758/4293758904.pdf.- Дата обращения: 12.01.2025

14. Акаева Т.К., Петрова С.Н. Основы химии и технологии получения и переработки жиров. Ч.1. Технология получения растительных масел: Учеб. пособие/ ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т; Иваново, 2007. - 124 с. ISBN 5- 9616- 0179-Х

References

1. Chala G.T., Sulaiman S.A., Japper-Jaafar A. Flow start-up and transportation of waxy crude oil in pipelines-A review//Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics.-2018.-Vol.251.-P.69-87. DOI 10.1016/j.jnnfm.2017.11.008

2. Nadirov K.S., Zhantasov M.K., Marenov B.T., Bombetova G.Zh. et al. Obtaining High-Paraffin-Content Oil Depressants//Chemical Engineering and Technology.-2021.-Vol.44(2).-P.310-317. DOI 10.1002/ceat.202000366

3. Zhang F., Ouyang J., Feng X., Zhang H., Xu L.Paraffin deposition mechanism and paraffin inhibition technology for high-carbon paraffin crude oil from the Kazakhstan PK oilfield// Petroleum Science and Technology.-2014.-Vol.32 (4).-P.488-496. DOI 10.1080/10916466.2011.596883

4. Mun G.A., Bekbassov T., Beksultanov Z., Yermukhametova B.B., Azhgaliyev B., Azhgaliyev N., Dergunov S.A. Modified graft copolymers based on ethylene vinyl acetate as depressants for waxy crude oil and their effect on the rheological properties of oil//Journal of Petroleum Science and Engineering.-2022.-Vol.213:110298. DOI 10.1016/j.petrol.2022.110298

5. El-Dalatony M.M., Jeon B-H., Salama El-S., Eraky M., Kim W.B., Wang J., Jihoon W., Ahn T. Occurrence and characterization of paraffin wax formed in developing wells and pipelines// Energies.-2019.-Vol.12 (6): 967. DOI 10.3390/en12060967

6. Li W., Li H., Da H., Hu K., Zhang Y., Teng L. Influence of pour point depressants (PDDs) on wax

deposition: A study on wax deposit characteristics and pipeline pigging//Fuel Processing Technology.-2021.-Vol.217: 106817. DOI 10.1016/j.fuproc.2021.106817

7. Kozhabekov S.S., Zhubanov A.A., Toktarbay Zh. Study the rheological properties of waxy oil with modified pour point depressants for the South Turgai oil Field in Kazakhstan//Oil and Gas Science and Technology.-2019.-Vol.74: 28. DOI 10.2516/ogst/2019004

8. Rehan M., Nizami A-S., Taylan O., Al-Sasi B.O., Demirbas A. (2016). Determination of wax content in crude oil//Petroleum Science and Technology.-2016.-Vol.34(9).- P.799-804. DOI 10.1080/10916466.2016.1169287

9. ST RK 1347-2024. Neft'. Obshhie tehnicheskie uslovija. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=36721756. - Data obrashhenija: 12.01.2025. [in Russian]

10. Lebedev N. N. Himija i tehnologija osnovnogo organicheskogo i neftehimicheskogo sinteza. - M.: Himija, 1988. - 588s. ISBN 5-7245-0008-6. [in Russian]

11. D' jachkova T.P., Orehov V.S., Brjankin K.V., Subocheva M.Ju. Himicheskaja tehnologija organicheskih veshhestv: uchebnoe posobie.- Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tehn. un-ta, 2008. - Ch.2. - 100s. ISBN 978-5-8265-0649-3. [in Russian]

12. Hamdamov M.B. Issledovanie vozmozhnosti sovershenstvovanija tehnologii proizvodstva zhirnyh kislot iz hlopkovyh soapstokov // Research and education, 2022.- №1(2).-S.385-388. [in Russian]

13. Gost mezhgosudarstvennyj iso/ts standart 17764-1-2015. URL https://meganorm.ru.- Data obrashhenija:12.01.2025. [in Russian]

14. Akaeva T.K., Petrova S.N. Osnovy himii i tehnologii poluchenija i pererabotki zhirov. Ch.1. Tehnologija poluchenija rastitel' nyh masel: Ucheb. posobie/ GOUVPO Ivan. gos. him.-tehnol. un-t; Ivanovo, 2007. - 124 s. ISBN 5- 9616- 0179-H. [in Russian]

Сведения об авторах

Бегимова А.Р. - PhD докторант, Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Шымкент,Казахстан, e-mail: as_86_ar@mail.ru;

Надирова Ж.К. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,e-mail: zhanna.nadirova@inbox.ru;

Сулейманов А.А. - доктор технических наук, профессор, Азербайджанский Государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан, petrotech@asoiu.az;

Жантасов М.К. - кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: manapjan_80@mail.ru;

Икласова Ж.У. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Атырауский университет нефти и газа им. С. Утебаева, Атырау, Казахстан, e-mail: janna_ua@mail.ru.

Information about the authors

Begimova A.R.-PhD doctoral, M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,e-mail: as_86_ar@mail.ru;

Nadirova Zh.K. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, zhanna.nadirova@inbox.ru;

Suleymanov A.A. - Doctor of Technical Sciences, Professor, [2]Azerbaijan State University of Petroleum and Industry, Baku, Azerbaijan, petrotech@asoiu.az;

Zhantasov M.K. - Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department. M.Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: manapjan_80@mail.ru;

Iklasova Zh.U. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, S. Utebayev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan, e-mail: janna_ua@mail.ru.

МРНТИ 52.39.29 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-992**

ПАРАЛЛЕЛЬ ОРНАЛАСҚАН ҰҢҒЫМА БОЙЫМЕН ТОРОИДАЛЬДЫ ГИДРОЖАРҒЫШТЫҢ КҮШІМЕН БІРТЕКТІ ТАСТАН ПЛИТАЛАРДЫ АЖЫРАТУДЫ ЗЕРТЕУ

[1]М.А. Сарыбаев✉, [2]Р.К. Жанакова, [2]Т.М. Алменов

[1]Әль-Фараби атындағы КазҰУ, Алматы қаласы, Қазақстан,
[2]Satbayev University, Алматы, Қазақстан,
✉*Корреспондент-автор: sarybaev.m@mail.ru*

Мақалада заманауи құрылысқа қажетті ғимараттардың сыртын қаптауға немесе баспалдақтарға пайдаланылатын беріктігі жоғары тау жыныстарын игеру процестері зерттелген. Материалдардың механикалық қасиеттерінен қысылу, созылу, иілу, кесу және т .б. беріктігі анықталады. Беріктік құрылыс материалдарының маңызды қасиеті болып табылады.

Зерттеу барысында тахеометрлік түсіріс негізінде горизонттардың бойында жатқан жарықшақтардың арақашықтықтары мен қозғалу бағыты ескерілді. Блокты тасты игеру, оны алудың негізгі параметрлерін анықтау кенорындарындағы жарықшақтардың күйі мен басым бағыттарын есепке алусыз жүргізіледі. Сол себепті осының барлығы шығындардың өсуіне әкеліп соғады. Мақаланың негізгі маңызы гранитті тау жыныстарын игеру барысындағы олардың сапасын төмендетпей игеру болып отыр. Аталған мәселе қазіргі таңдағы тау жыныстарын блоктарға бөлу арқылы игеру өзекті мәселесі болып саналады.

Түйін сөздер: құрылыс, ғимарат, кенорын, деформация, жарықшақ, гранит, игеру, тау жынысы, карьер.

ОБ ОТРЫВЕ ПЛИТ ИЗ ОДНОРОДНОГО КАМНЯ ЭЛАСТИЧНЫМИ ТОРОИДАЛЬНЫМИ ГИДРОРАЗРЫВАТЕЛЯМИ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ ВДОЛЬ ПРЯМОЙ

[1]М.А. Сарыбаев✉, [2]Р.К. Жанакова, [2]Т.М. Алменов

[1]КазНУ им.Аль-Фараби, Алматы, Казахстан,
[2] Satbayev University, Алматы, Казахстан,
e-mail: sarybaev.m@mail.ru

В статье исследуются процессы разработки высокопрочных пород, используемых для облицовки фасадов зданий или лестниц, необходимых для современного строительства. По механическим свойствам материалов определяются на сжатие, растяжение, изгиб, резку и прочность. Прочность является важным свойством строительных материалов.

При исследовании учитывались расстояния и направление движения трещин, лежащих вдоль горизонтов на основании тахеометрической съемки. Разработка блочного камня, определение основных параметров его добычи производится без учета состояния и приоритетных направлений трещин на месторождениях. Все это приводит к росту затрат. Основным значением статьи является освоение гранитных пород без снижения их качества в процессе их освоения. Данный вопрос является актуальным вопросом освоения современных горных пород с разбивкой на блоки.

Ключевые слова: строительство, здание, месторождение, деформация, трещина, гранит, разработка, горная порода, карьер.

ON THE SEPARATION OF HOMOGENEOUS STONE SLABS ELASTIC TOROIDAL GIDRORAZRYVATEL IN A PARALLEL BOREHOLES ALONG A STRAIGHT

[1]M.A. Sarybayev✉, [2]R.K. Zhanakova, [2]T.M. Almenov

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[2]Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: sarybaev.m@mail.ru

The article examines the processes of developing high-strength rocks used for cladding facades of buildings or stairs necessary for modern construction. The mechanical properties of materials are determined for compression, stretching, bending, cutting and strength. Durability is an important property of building materials.

The study took into account the distances and direction of movement of cracks lying along the horizons based on the total station survey. The development of block stone and the determination of the main parameters of its extraction are carried out without taking into account the condition and priority areas of cracks in the deposits. All this leads to higher costs. The main meaning of the article is the development of granite rocks without reducing their quality in the process of their development. This issue is an urgent issue of the development of modern rocks, broken down into blocks.

Keywords: construction, building, deposit, deformation, crack, granite, mining, rock, quarry.

Кіріспе. Қазақстанның экономикалық және әлеуметтік дамуының негізгі бағыттары прогрессивті құрылыс материалдарын, бұйымдары мен конструкцияларын өндіруді дамыту жөніндегі міндеттерді көздейді. Массив құрылымының қалыптасу заңдылықтары мен тау жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттерін анықтауға бағытталған зерттеулер мен олардың нәтижелерін ашық тау жұмыстарын жобалауда пайдалану өте өзекті мәселе болып табылады және тау-кен-техникалық жүйелерді жобалау теориясын дамытуда олардың маңызы зор.

Тау жыныстары мен табиғи тас материалдарын сынау кезінде физикалық қасиеттері анықталады: тығыздық, кеуектілік, суды сіңіру, ылғалдылық, аязға төзімділік.

Аталған көрсеткіштердің ішінде ең көп қолданылатыны созылу беріктігінің шегі, өйткені табиғи құрылыс материалдарын дайындау кезінде олар негізінен плиталармен кен орнының массивтік бөлігінен бөлініп алынады, яғни олар негізінен гидроклин қондырғылары арқылы қолданылатын созылу күштерімен ажыратылады [1-6], өндірілген материалды аралау кезінде немесе гидрожарғыштан пайда болған саңылауларда немесе қатарынан бірдей аралықтарда бірбіріне параллель бұрғыланған ұңғымалармен жүзеге асады [3,7]

Сондықтан өндірілген материалдың бір осьтік созылу беріктігін алдын-ала зерттеу ұңғымалар арасындағы оңтайлы қашықтықты және ұңғымалардың қабырғаларына гидрожарғыш тудыратын қысымдарды есептеуде өте маңызды рөл атқарады. Мәселен, мысалы, жұмыста Молдова мен Украинаның әктастарының 2,5-тен 12,5 МПа-ға дейінгі беріктігінің шегі қолданылады [1,6]

Материалдар мен әдістер. Аралайтын тастың басқа түрлерінің ұқсас беріктіктерін зерттеу керек және соңғысын өндіру кезінде табу керек, егер кен орнының қасиеті зерттелсе, ал егер жоқ болса, кен орнының ең қажетті беріктік көрсеткіштерін тез зерттеп, кем дегенде бір осьті созылу беріктігінің шектерін σ_p белгілеу керек, бұл тиімді игеруге мүмкіндік береді.

1-суретте ұңғымаларды бұрғылау схемасы келтірілген, мұндағы L - кез-келген іргелес екі ұңғыманың осьтері арасындағы қашықтық, d-гидрожарғыштың диаметріне сәйкес келетін ұңғыманың диаметрі және ол 8 см-ге тең. Әзірленіп жатқан тас материалдарының әртүрлі сорттарында ұңғымалар арасындағы оңтайлы қашықтықты есептеу керек, яғни ұңғымада гидрожарғышпен жасалған қысымды және сынған тастың созылу беріктігін σ_p пайдаланып.

Егер әзірленген (өндірілген) құрылыс тасының бір осьтік созылу беріктігінің шегі σ_p арқылы белгіленсе және ұңғыманың қабырғаларына серпімді тороидальды камераның көмегімен P арқылы түсетін қысым болса, онда 1-суретте келтірілген ұңғыманың осы параметрлері мен өлшемдерін қолдана отырып, құрылыс тасының бір бөлігін *AB* сызығы бойымен бөлу процесін есептеуге болады, яғни ұңғымалар қатарына гидрожарғыштар енгізілді.

Есептеу үшін біз ауданның бүкіл бетінде орналасқан тастың барлық бөлшектерін бір-бірінен

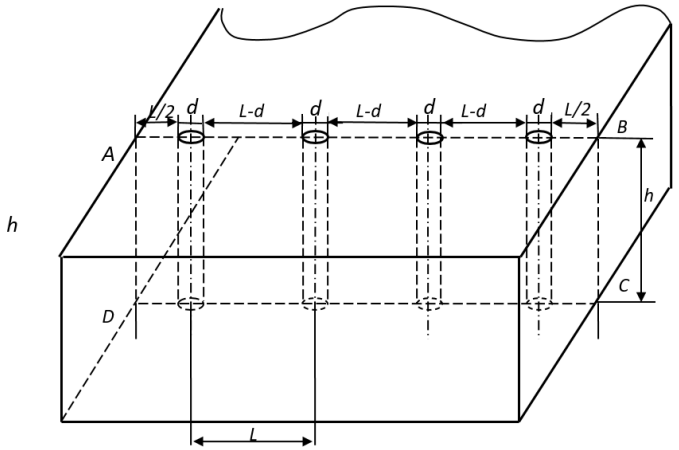
ашатын екі іргелес гидрожарғыштарды қолданамыз

$$S = (L - d) \cdot h, \quad (1)$$

мұндағы h – гидрожарғыштың ұзындығына тең ұңғының тереңдігі.

Бұл беттің бір жартысы бір гидрожарғышқа, ал екінші жартысы сол сияқты екінші гидрожарғышға түседі.

Бөлік ажыратылған кезде гидрожарғышқа түсетін қысым Р-ге тең болсын. Мұндағы формула бойынша бір гидрожарғыштың ажырату күшінің шамасы:



1 - сурет. АВСД бетіндегі гидрожарғышпен құрылыс тастарының плитасын ажыратуға арналған ұңғымалардың орналасуы

h - гидрожарғыштың биіктігі;

d - тороидальды камераның сыртқы диаметрі (ұңғының диаметрі);

L - екі іргелес шпурдың осьтері арасындағы қашықтық;

P - гидрожарғыштың ішкі қысымы

$$F = P \cdot d \cdot h. \quad (2)$$

(2) формула бойынша келтірілген уақыттың күші F екі гидрожарғышты іске қосады, өйткені бұл күштің жартысы, яғни бір гидрожарғышты іске қосады, ал екіншісі - екінші гидрожарғышты іске қосады, сондықтан (1) формула бойынша s фракциясының беті (2) формула бойынша күштің әсерінен пайда болады. Осылайша, бөліктен бөлінудің шекті (жағдайы) сәтін мына формуламен білдіруге болады

$$\sigma(L - d) \cdot h = P \cdot d \cdot h, \quad (3)$$

где σ_p – ажыраған тастың созылу беріктігінің шегі, МПа.

Қысқартудан кейін (3) формуланы келесідей жазуға болады $\sigma(L - d) = Pd$, немесе

$$P = \frac{\sigma \cdot (L - d)}{d}. \quad (4)$$

Ұңғымалардың негізгі материалдары бойынша тау жыныстарының беріктік қасиеттерін эксперименттік зерттеу беріктік шегі мәндерінің $\sigma_р$ шектері бар екенін көрсетеді [4,8,9,10], негізінен 1-ден 14 МПа-ға дейін. Ең мықты тау жынысы үшін бұл шектеу кейде 20 МПа дейін жетеді. Тас материалдарының беріктігінің осы шектерін пайдалана отырып, (4) формула бойынша ұңғыманың орналасуының АВ сызығы бойынша бөлікті толығымен ажырату үшін ұңғыманың ішінде жасалуы керек Р қысымын есептей аламыз.

Оңтайлы қашықтықты анықтау үшін L ұңғымалармен есептеулер L=2м кезінде орындалады. қысымның есептік мәндері Р беріктігіне байланысты $\sigma_р$ тау жыныстары 1-кестеде келтірілген

1 - кесте. L=2 м кезінде ұңғымадағы (гидрожарғыштағы) Р қысымының есептік мәндері

σ_p, МПа	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
P, МПа	48	96	144	192	240	288	336	384	432	480

1-кестеден көріп отырғанымыздай, қатардағы ұңғымалар арасындағы L=2м қашықтықта ұңғымалардағы есептік қысым айтарлықтай маңызды, сондықтан (4) формула бойынша есептеулер L=1 м де орындалады және нәтижелер 2-кестеге орналастырылады.

2 - кесте. L=1 м кезінде ұңғымадағы (гидрожарғыштағы) Р қысымының есептік мәндері

σ_p, МПа	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
P, МПа	23	46	69	92	115	138	161	184	207	230

Біріншіден, жарықтар ұңғымалардың қабырғаларынан басталып, ұңғыма жағынан аз қысымның әсерінен өніп шығатынын ескере отырып, екіншіден, масштабты факторлардың әсері бетіндегі бөлшектер байланысының $(L-d)\cdot h$ беріктігін шамамен 15-20% төмендетеді, төмендегі есептеулер келтірілген факторлардың әсерін ескере отырып жасалады. Факторлар бірге созылу беріктігін төмендететінін қабылдайық өр 1 және 2 кестелерде фрекерлердегі (4) формула бойынша қысым есептеулерін 30% - ға азайтып, нәтижелерді 3 және 4 кестелерге орналастырамыз.

3 - кесте. Жарықшақтың дамуын физикалық тұрғыдан есепке алу кезіндегі қысымның есептік шамалары және масштабты факторлардың әсері (L=2 м кезінде)

σ_p, МПа	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	9,8	11,2	12,6	14,0
P, МПа	33,6	67,8	100,8	134,4	168,0	201,6	235,2	268,8	302,4	336,0

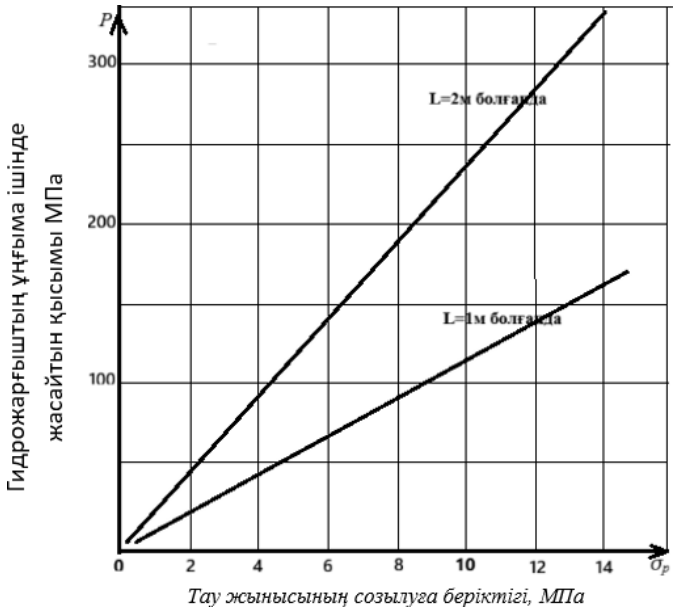
4-кесте. (L=1 м кезінде) жарықшақтың дамуын физиканы есепке ала отырып гидрожарғыштағы қысымның есептік шамасы және масштабты факторлардың әсері

σ_p, МПа	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	9,8	11,2	12,6	14,0
P, МПа	16,1	32,2	48,3	64,4	80,5	96,6	112,7	128,8	144,9	161,0

Нәтижелер және талқылау. Қысымның *P* тәуелділігі созылу беріктігі σ_p, 3 және 4 кестелерде келтірілген мәліметтер 2-суретте графикалық түрде көрсетілген. (4) формула түрінде алынған гидрожарғыштағы *P* қысым мен тастың созылу беріктігі σ_p арасындағы сызықтық байланыс 2-суретті өте айқын көрсетілген. Суреттен көрініп тұрғандай тастардың беріктігі, негізінен, ұңғымалардың осьтері арасындағы L=1м қашықтықта созылу беріктігі σ_p 10 МПа дейін болғанда, гидрожарғыштардағы қысымды 100 МПа-ға дейін жеткізуге болады, ал L=2 м кезінде гидро-

жарғыштардағы қысым 250 МПа-ға дейін жетуі мүмкін.

Жоғарыда айтылғандарды бір жазықтықта параллель бұрғыланған ұңғымаларға орналастырылған гидрожарғышпен беріктігі жоғары тастардың плиталарын олардың арасындағы бірдей L аралықтары арқылы бөлу мүмкіндігі туралы қорытындылай келе, ал L/2 қашықтықта орналасқан ұңғымалардан күтілетін (ажыратылатын тақтаның) ашық бөлігінен келесі қорытындылар жасауға болады.



2 - сурет. Ұңғыма ішіндегі қысымның Р тау жыныстарының беріктігіне тәуелділігі σ_p

Қорытынды. Ұңғымаларды бұрғылау кезінде олардың тереңдігіне негізінен шұңқырдың биіктігі мен гидрожарғыштың таңдалған ұзындығы әсер етеді, өйткені (4) формула ұңғыманың тереңдігін, яғни гидрожарғыштың ұзындығын ескермейді.

3-кестенің деректері бойынша гидрожарғышта болжамды қысымның *P* игеріліп жатқан тастардың ең көп кездесетін сорттары үшін 33,6-235,2 МПа шегі бар екенін көрсетеді (L=2м кезінде ұңғымалардың осьтері арасындағы қашықтық).

4-кестенің деректері гидрожарғышта болжамды *P* қысымның беріктігі жоғары тастарда (L=1 м болғанда) 16,1-112,7 МПа шегі бар екенін көрсетеді.

Әдебиеттер

1. Михайлов Ю.И., Спиваков Ф.П., Якубец А.А. Технология и механизация добычи пильного камня подземным способом / Недра. - 1986.- 167 с.

2. Викторов А.М. Стойкость карбонатного строительного камня/Высшая школа. - 1968. - 52 с.

3. Болгожин Ш.А., Сыздыков М.М., Байбосынов Ж.Б., Помашев О.П. Устройство для определения давления горных пород в скважинах //Авторское свидетельство СССР №1273552, МКИ Е 21 С 39/00. - 1986. - Бюл.№44.

4. Барон Л.И. Горнотехнологическое породоведение. Предмет и способы исследований/ Наука. - 1977.-323с.

5. Сарыбаев М.А. Повышение эффективности освоения строительных камней с применением гидроразрывателя,диссертация, на кандидат техн. наук./ Алматы. - 2010. - 92 с.

6. Ракишев Б.Р., Машанов А.А., Баймухамедов Е.М. Графическая связь теорий прочности с формами естественных отдельностей // Сборник докладов X международной конференции «Технология, оборудование и сырьевая база горных предприятий промышленности строительных материалов». - Минск. - 2002. - С.113-116.

7. Латышев О.Г., Казак О.О. Математические методы в горном деле: учебник для ВУЗов / Уральский гос. горный ун-т. - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. - 146 с. ISBN 978-5-9729

8. Кю Н.Г., Фрейдин А.М., Чернов О.И. Добыча блочного камня методом флюидоразрыва горных пород // Горный журнал. -2001. - № 3. С.71-75.

9. Ракишев Б.Р., Машанов А.А., Калышкина Е.Н. Определение углов естественных отдельностей в массиве скальных пород на ПЭВМ // Сборник научных трудов НГА Украины. Днепропетровск.2001. - № 12. - С.138-143.

10. Пьянков С. А., Азизов З. К. Механика грунтов: учебное пособие / Ульян. гос. техн. ун-т. - Ульяновск: УлГТУ, 2014. - 169 с. ISBN 978-5-9795-0399-8

References

1. Mihajlov Ju.I., Spivakov F.P., Jakubec A.A. Tehnologija i mehanizacija dobychi pil’ nogo kamnja podzemnym sposobom / Nedra. - 1986.- 167 s.[in Russian]

2. Viktorov A.M. Stojkost’ karbonatnogo stroitel’ nogo kamnja/Vysshaja shkola. - 1968. - 52 s. [in Russian]

3. Bolgozhin Sh.A., Syzdykov M.M., Bajbosynov Zh.B., Pomashev O.P. Ustrojstvo dlja opredelenija davlenija gornyh porod v skvazhinah //Avtorskoe svidetel’ stvo SSSR №1273552, MKI E 21 S 39/00. - 1986. - Bjul.№44. .[in Russian]

4. Baron L.I. Gornotehnologicheskoe porodovedenie. Predmet i sposoby issledovanij/ Nauka. - 1977.-323 s. [in Russian]

5. Sarybaev M.A. Povyshenie jeffektivnosti osvoenija stroitel’ nyh kamnej s primeneniem gidrorazryvatelja,dissertacija, na kandidat tehn. nauk./ Almaty. - 2010. - 92 c. [in Russian]

6. Rakishev B.R., Mashanov A.A., Bajmuhamedov E.M. Graficheskaja svjaz’ teorij prochnosti s formami estestvennyh otdel’ nostej // Sbornik dokladov H mezhdunarodnoj konferencii «Tehnologija, oborudovanie i syr’ evaja baza gornyh predprijatij promyshlennosti stroitel’ nyh materialov». - Minsk. - 2002. - S.113-116. [in Russian]

7. Latyshev O.G., Kazak O.O. Matematicheskie metody v gornom dele: uchebnik dlja VUZov / Ural’ skij gos. gornyj un-t. - Ekaterinburg: Izd-vo UGGU, 2013. - 146 s. ISBN 978-5-9729. [in Russian]

8. Kju N.G., Frejdin A.M., Chernov O.I. Dobycha blochnogo kamnja metodom fljuidorazryva gornyh porod // Gornyj zhurnal. -2001. - № 3. S.71-75. [in Russian]

9. Rakishev B.R., Mashanov A.A., Kalyshkina E.N. Opredelenie uglov estestvennyh otdel’ nostej v massive skal’ nyh porod na PJeVM // Sbornik nauchnyh trudov NGA Ukrainy. Dnepropetrovsk.2001. - № 12. - S.138-143. [in Russian]

10. P’ jankov S. A., Azizov Z. K. Mehanika gruntov: uchebnoe posobie / Ul’ jan. gos. tehn. un-t. - Ul’ janovsk: UlGTU, 2014. - 169 s. ISBN 978-5-9795-0399-8. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Сарыбаев М.А. - т.ғ.к. аль-Фараби атындағы КазҰУ, Алматы, Қазақстан, e-mail:sarybaev.m@mail.ru;

ЖанаковаР.Қ.- PhD докторы, қауым. проф., Satbayev University, Алматы, Қазақстан, e-mail:zhanakova_raisa@mail.ru;

Алменов Т.М. - техн.ғыл.канд., проф., Satbayev University Алматы, Қазақстан, e-mail: T.Almenov@satbayev.university.

Information about authors

Sarybayev M.A. - c.t.s., Al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan,e-mail:sarybaev.m@mail.ru;

Zhanakova R,K,- PhD, Associate Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan , e-mail:zhanakova_raisa@mail.ru;

Almenov T.M. - candidate of Technical Sciences, Professor, Satbayev University , Almaty, Kazakhstan, e-mail: T.Almenov@satbayev.university.

ГРНТИ 38.33.03 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-977**

СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПРИКАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ МЕТОДОМ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

[1]Р.К. Адилханов, [1]Р.К. Мадишева, [1]Г.М. Жексенбаева✉, [2]Б.В. Успенский, [1]Ж.Т. Токушева, [1]С.Б. Иманбаева, [3]С.Т. Абдрахманова, [1]А.М. Оспанов

[1]Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан,
[2]Казанский федеральный университет, Казань, Российский Федерация,
[3]Некоммерческое акционерное общество Кокшетауский университет им.Ш.Уалиханова, Кокшетау, Казахстан
✉Корреспондент-автор: gulmira_zh91@mail.ru

Прикаспийский нефтегазоносный бассейн относится к числу крупнейших мировых регионов с значительными запасами углеводородного сырья. Его сложная тектоническая структура и разнобразие геологических условий требуют детального анализа геохимических свойств пород для повышения точности прогнозов нефтегазоносности.

В рамках настоящего исследования проведен газожидкостный хроматографический анализ восьми экстрактов, взятых из различных глубин скважины ВУ-4. В двух образцах, взятых на глубинах 3057,15 м и 3191,65 м, признаки УВ не выявлены. Остальные пробы позволили определить характеристики нефтематеринских пород, что важно для оценки их способности генерировать нефть. Для интерпретации результатов применялись программные продукты Malcom (Schlumberger, Франция) и PIGI (IGI, Великобритания).

Газожидкостная хроматография выявила углеводородные соединения с углеводородным числом от C_{13} до C_{34}, при этом наиболее выражена концентрация нормальных алканов в диапазоне C_{10}-C_{12}, что соотвествует нефти морского происхождения. Отсутствие легких фракций может быть связано с особенностями отбора и хранения проб, а также с процессами миграции и перераспределения углеводородов в разрезе.

Полученные данные представляют интерес для понимания генезиса нефти и оценки потенциальной продуктивности. Результаты исследования способствуют уточнению геохимических моделей и дальнейшему прогнозированию нефтегазоносности в Прикаспийском регионе.

Ключевые слова: Прикаспийская впадина, газожидкостная хроматография, углеводороды, нефтематеринская порода, геохимические исследования, *н*-алканы.

ГАЗ-СҰЙЫҚТЫҚ ХРОМАТОГРАФИЯ ӘДІСІМЕН КАСПИЙ МАҢЫ ОЙПАТЫНЫҢ ШЫҒЫС БӨЛІГІНІҢ КӨМІРСУТЕКТЕР ҚҰРАМЫ

[1]Р.К. Адилханов, [1]Р.К. Мадишева, [1]Г.М. Жексенбаева✉, [2]Б.В. Успенский, [1]Ж.Т. Токушева, [1]С.Б. Иманбаева, [3]С.Т. Абдрахманова, [1]А.М. Оспанов

[1]«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Қарағанды, Қазақстан,
[2]Қазан федералды университеті, Қазан, Ресей Федерациясы,
[3]«Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Көкшетау, Қазақстан,
e-mail: gulmira_zh91@mail.ru

Каспий маңы мұнай-газ бассейні көмірсутек шикізатының мол қорларымен әлемдегі ірі аймақтардың қатарына жатады. Оның күрделі тектоникалық құрылысы мен геологиялық жағдайлары мұнай-газдылықты болжаудың дәлдігін арттыру үшін жыныстардың геохимиялық қасиеттерін терең талдауды талап етеді.

Осы зерттеу аясында ВУ-4 ұңғымасынан әртүрлі тереңдікте алынған сегіз экстрактқа газ-сұйықтық хроматографиялық талдау жүргізілді.3057,15 м және 3191,65 м тереңдіктерден алынған екі

үлгіде көмірсутектер анықталған жоқ. Қалған сынамалар мұнай аналық жыныстардың сипаттамаларын айқындауға мүмкіндік берді. Нәтижелерді интерпретациялау үшін Malcom (Schlumberger, Франция) және PIGI (IGI, Ұлыбритания) бағдарламалық өнімдері қолданылды.

Газ-сұйықтық хроматографиясы көмірсутектердің C_{13} тен C_{34} аралығын көрсетті, негізгі концентрациясы C_{10}-C_{12} диапазонындағы *н*-алкандарға тиісті. Бұл теңіздік текті мұнайға тән сипат болып саналады. Жеңіл фракциялардың болмауы сынамаларды алу және сақтау ерекшеліктеріне, сонымен қатар көмірсутектердің қима бойындағы миграциясы мен қайта таралу процестеріне байланысты болуы мүмкін.

Алынған деректер мұнайдың генезисін терең түсінуге және мұнай-газдылық әлеуетін бағалауға жағдай жасайды. Зерттеу нәтижелері геохимиялық модельдерді нақтылауға және Каспий маңы аймағында мұнай-газдылықты болжауды жетілдіруге ықпал етеді.

Түйін сөздер: Каспий маңы ойпаты, газсұйық хроматографиясы, көмірсутектер, мұнай-аналық жыныс, геохимиялық зерттеулер, *н*-алкандар.

COMPOSITION OF HYDROCARBONS IN THE EASTERN PART OF THE CASPIAN BASIN BY GAS-LIQUID CHROMATOGRAPHY

[1]R.K. Adilkhanov, [1]R.K. Madisheva, [1]G.M. Zhexenbayeva✉, [2]B.V. Uspensky, [1]Zh.T. Tokusheva, [1]S.B. Imanbayeva, [3]S.T. Abdrahmanova, [1]A.M. Ospanov

[1]Non-profit joint Stock Company «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Karaganda, Kazakhstan,
[2]Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation,
[3]Non-profit joint Stock Company Kokshetau University named after Sh. Ualikhanov, Kokshetau, Kazakhstan,
e-mail: gulmira_zh91@mail.ru

The Caspian oil and gas basin is one of the world´s largest regions with significant hydrocarbon reserves. Its complex tectonic structure and diverse geological conditions require a detailed analysis of the geochemical properties of rocks to improve the accuracy of forecasts of oil and gas potential.

As part of the ongoing study, a gas-liquid chromatographic analysis of eight extracts taken from various depths of the EU-4 well was performed. No signs of hydrocarbons were detected in two samples taken at depths of 3057,15 m and 3191,65 m. The remaining samples allowed us to determine the characteristics of the source rock, which is important for assessing their ability to generate oil. Software products Malcom (Schlumberger, France) and PIGI (IGI, Great Britain) were used to interpret the results.

Gas-liquid chromatography revealed hydrocarbon compounds with a hydrocarbon number from C_{13} to $C_{34,}$ with the most pronounced concentration of normal alkanes in the range C_{10}-C_{12}, which corresponds to marine oil. The absence of light fractions may be related to the specifics of sampling and storage, as well as to processes of hydrocarbon migration and redistribution within the section.

The data obtained are of interest for understanding the genesis of oil and assessing potential productivity. The results of the study contribute to the refinement of geochemical models and further forecasting of oil and gas potential in the Caspian region.

Keywords: Caspian basin, gas-liquid chromatography, hydrocarbons, source rock, geochemical studies, n-alkanes.

Введение. Современные геохимические исследования подтверждают наличие более 600 биомаркеров в нефтях, что позволяет использовать их для решения широкого круга задач-от оценки состава органического вещества до выяснения степени его преобразования, уровня биодеградации и путей миграции углеводородов.

Газовая хроматография (ГХ) представляет собой аналитический метод, основанный на различии распределения компонентов смеси меж-

ду неподвижной и подвижной фазами. При использовании жидкой неподвижной фазы на твердом носителе метод называется газожидкостной хроматографией (ГЖХ). В этом случае летучие соединения разделяются в процессе прохождения газового потока через поверхность, покрытую жидкой фазой, что обеспечивает высокоэффективное разделение сложных смесей [1].

ГЖХ демонстрирует высокую эффективность при разделении сложных многокомпонентных смесей, включая углеводороды, различающиеся по температуре кипения лишь на доли градуса. Методика анализа характеризуется оперативностью и минимальными требованиями к объему исследуемого материала. Современные хроматографические приборы обеспечивают высокую чувствительность при идентификации соединений, а также позволяют точно определять их количественное содержание. В рамках настоящей работы анализ проводился с использованием пламенно-ионизационного детектора (ПИД), применяемого для надежного определения углеводородов и серосодержащих компонентов [1].

Среди приоритетных задач газожидкостной хроматографии – определение индивидуального состава соединений, их количественная оценка, а также выделение отдельных фракций в сложных смесях. Метод зарекомендовал себя как один из ключевых в геохимических исследованиях нефти, особенно при анализе конденсатов и выявлении биомаркеров, таких как изопреноидные и стероидные соединения. За последние годы ГЖХ в сочетании с хромато-масс-спектрометрией всё шире применяется для реконструкции условий седиментации и диагностики нефтематеринских толщ [2].

Для комплексной оценки нефтегенерационного потенциала горных пород в настоящее время применяется совокупность методов, газожидкостную хроматографию (ГЖХ), хромато-масс-спектрометрию (ХМС), а также высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ). Такой интегрированный подход позволяет не только определять базовые геохимические параметры-содержание общего органического углерода, зрелость керогена, битуминозность, но и проводить детальный молекулярный анализ. Это особенно важно при идентификации нефтематеринских толщ и реконструкции процессов нефтеобразования [2].

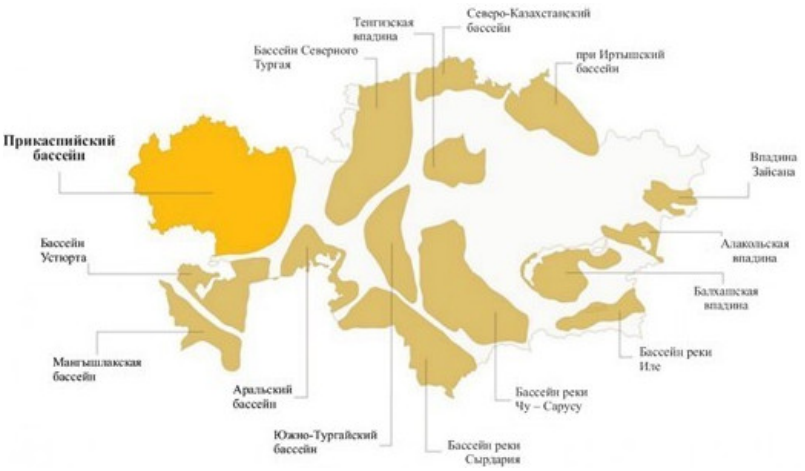


Рис.1 - Схема размещения осадочных бассейнов Казахстана [4]

Геологическая характеристика. Прикаспийский нефтегазоносный бассейн является одним из крупнейших в мире по запасам углеводородов. Восточная часть впадины граничит с Урало-Мугалжарской складчатой областью и отделена от неё системой глубоких разломов, среди которых наиболее значимым является Сакмаро-Кокпектинский. В северной и северо-западной части геологические границы бассейна частично выходят за пределы территории Казахстана,

совпадая с государственной границей. В пределах палеозоя структурная граница представлена серией карбонатных уступов различного возраста, отражающих тектоническую и седиментационную историю региона [3].

В пределах Прикаспийской впадины расположены крупнейшие месторождения углеводородов, включая Кашаган, Тенгиз и Карашыганак. На восточном борту активно разрабатываются Жанажол, Кенкияк, Алибекмола и Кожасай. Продуктивный разрез этой зоны представлен чередующимися карбонатными и терригенными толщами, относящимися к страграфическим уровням КТ-III, КТ-II, МКТ и КТ-I [5].

В более обобщенном виде осадочный чехол подразделяется на четыре мегакомплекса: додевонский, девонско-раннепермский (докунгурский), кунгурско-казанский и мезокайнозойский. Первые два комплекса формируют подсолевую часть разреза, включающую резервуары различного типа и уровни флюидоупоров [6]. Третий мегакомплекс, представленный главным образом кунгурской соленосно-ангидритовой толщей, выполняет роль регионального экранирующего горизонта. Он разграничивает подсолевую и надсолевую секции впадины (Рисунок.2) [7].

Мезокайнозойская надсолевая часть разреза характерезуется чередованием песчано-алевролитовых коллекторов и глинистых флюидоупоров, преимущественно локального или зонального развития. Подсолевой комплекс восточной бортовой зоны Прикаспийской впадины отличается высокой литолого-фациальной неоднородностью и представлен терригенными и карбонатными породами девонского, каменноугольного и раннепермского возраста. Эти отложения разделены стратиграфическими несогласиями, что затрудняет их корреляцию и требует детального анализа. С тектонической точки зрения район месторождения Урихтау приурочен к северо-западной части Жанажолськой ступенивосточной прибортовой зоны, отличающейся сложной блоковой структурой (Рисунок.3) [8,9].

Нефтегазоконденсатные месторождение Урихтау было открыто в 1983 году в результате бурения параметрической скважины П-4, подтвердившей продуктивность подсолевых отложений толщ КТ-I и КТ-II. Месторождение расположено в восточной прибортовой зоне Прикаспийской впадины, в пределах Жанажольской тектонической ступени. Геологическое строение района отличается высокой степенью блочной расчленённости, наличием скрытых стратиграфических несогласий и литолого-фациальной изменчивостью пород, что обусловливает сложность прогноза флюидонасыщенных интервалов. Установленные продуктивные горизонты демонстрируют перспективность для дальнейших геохимических и структурно-литологических исследований [10].

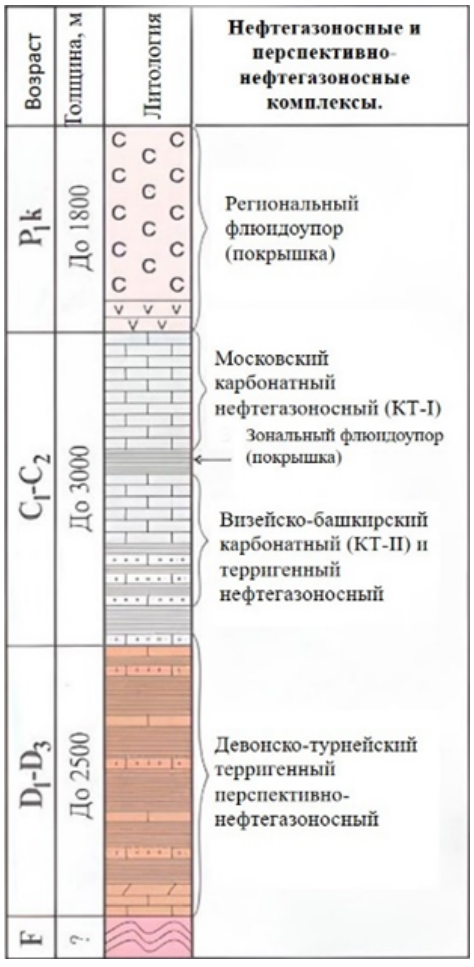


Рис.2 - Схематизированный Урихтауской тип разреза палеозоя Завольжско–Предуральской области [6].

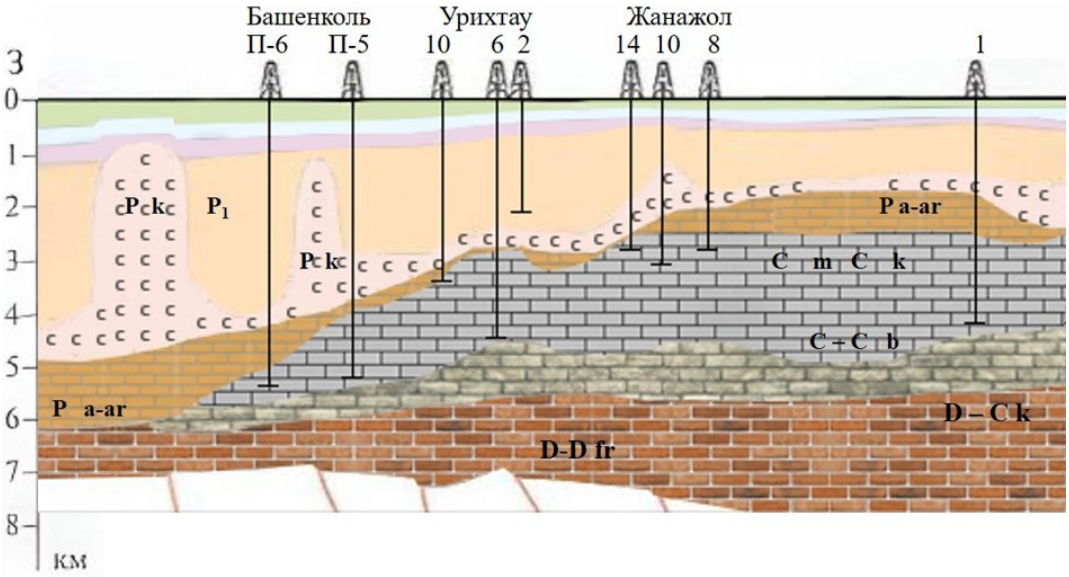


Рис.3 - Геологический разрез Жанажольской и Урихтау - Башенкольский НГЗ [6]

Материалы и методы. В ходе исследования были проанализированы восемь проб экстракта, извлеченных из различных глубин керна скважины ВУ-4, пробуренной на месторождении Восточный Урихтау. Отбор осуществлялся в диапазоне стратиграфически значимых интервалов. При этом две пробы, взятые с глубин 3057,15 м и 3191,65 м, не продемонстрировали признаков углеводородного насыщения, что может быть связано с низкой степенью зрелости пород или выветриванием.

Для опредения состава углеводородов использован метод капиллярной газожидкостной хроматографии (ГЖХ), который обеспечивает высокую степень разрешения при анализе сложных многокомпонентных смесей. Анализ выполнен на хроматографической системе Agilent 7890B, оснащенной пламенно-ионизационным детектором (ПИД). В качестве разделительной системы использовалась кварцевая капиллярная колонка длиной 25 м, внутренним диаметром 0,25 мм, с нанесённой неполярной стационарной фазой НР-1.

Полученные хроматограммы позволили определить качественный и количественный состав *н*-алканов и изопреноидов. Расшифровка результатов проводилась с использованием специализированных программных комплексов Malcom (Schlumberger, Франция) и PIGI (IGI, Великобритания), обеспечивающих интерпретацию распределения углеводородов, расчёт диагностических коэффициентов и построение геохимических моделей.

Нормальные алканы (*н*-алканы) составляют значительную часть углеводородной фазы нефти, достигая 40-70% в зависимости от генезиса исходного органического вещества. Эти соединения являются биогенными по происхождению и формируются либо за счет прямого наследования структур липидов живых организмов, либо в результате их преобразования в ходе диагенеза. В составе нефти и рассеянного органического вещества (РОВ) *н*-алканы образуют полный гомологический ряд, что делает их важным объектом геохимического анализа при реконструкции условий осадконакопления и оценки зрелости нефтематеринских пород [11].

Распределение *н*-алканов по числу атомов углерода служит информативным индикатором источника органического вещества в нефтематеринских породах. Повышенное содержание соединений с короткой цепью, таких как *н*-C_{17}, как правило указывает на вклад водорослей (особенно зелёных и красных), в то время как доминирование длинноцепочечных *н*-алканов (C_{23}-C_{35}) отражает присутствие наземного растительного

материала. Особый интерес представляет концентрация *н*-C_{22}: её повышение может свидетельствовать и гиперсоленых условиях седиментации, характерных для лагунных и ограниченных морских бассейнов [12].

Соотношение четных и нечетных *н*-алканов является важным параметром при оценке степени термической зрелости органического вещества и его генетической природы. Преобладание нечетных углеводородов указывает на низкую степень преобразования органики и её преимущественно континентальное происхождение. Напротив, повышение доли четных *н*-алканов может свидетельствовать о более высокой зрелости и формировании в восстановительной морской среде. Этот показатель используется в комплексе с другими биомаркерными признаками для уточнения условий осадконакопления [13].

Существенным вкладом в развитие органической геохимии стало выявление широкого распространения изопреноидных алифатических углеводородов, таких как пристан и фитан, в нефтях, углях, сланцах и рассеянном органическом веществе. Эти соединения формируются в процессе биохимической трансформации хлорофилла и других липидов и обладают высокой стабильностью, что делает их надежными геохимическими индикаторами. Их количественные соотношения используются для реконструкции условий осадконакопления и окислительно-восстановительной обстановки среды, в которой формировалась органика [14].

Обсуждения и результаты. В этой работе представлены интерпретация результатов газохроматографического исследования 8 проб экстракта, выделенного из разных интервалов скважины ВУ-4 (Рисунок.4). Но две пробы (3057,15 м и 3191,65 м) не показали признаки УВ по результатам газохроматографии. По результатам данных геохимических исследований породы определены характеристики нефтематеринской породы исследованных проб нефти в плане осадконакопления. Интерпретация выполнялась на базе специальных программных обеспечений Malcom (Schlumberger, Франция) и PIGI (IGI, Англия).

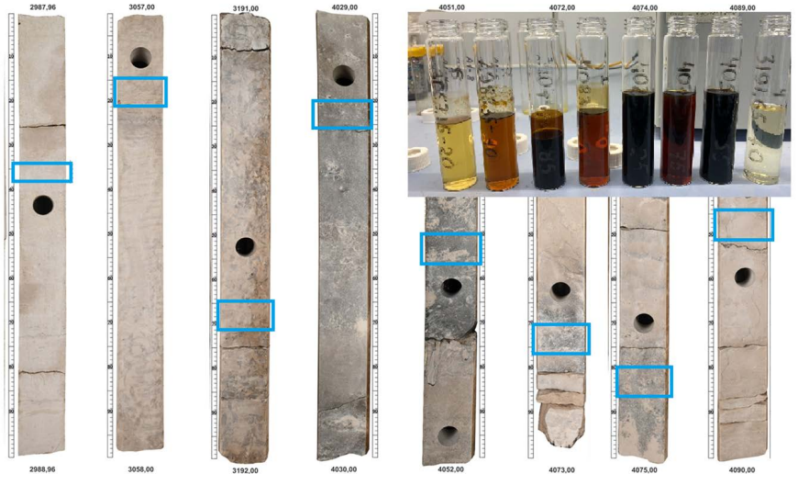


Рис.4 - Исследованные интервалы керна скважин ВУ-4 для геохимического анализа

ГЖХ позволяет изучить состав и характер распределения алканов нормального и изопреноидного строения на молекулярного уровне, по результатам которой можно оценить качество образца и его пригодность для дальнейших анализов.

Так, время удержания *н*-алканов и изопреноидов в виде пика на хроматограмме зависит от молекулярной массы (MW) и температуры кипения (BT) каждого компонента. Чем меньше молекулярная масса и ниже температуры кипения, тем быстрее выходят компоненты в неф-

ти. Например, нонан (C_9H_{20}, ВР-151ºС) выходит раньше, чем декан ($C_{10}H_{22}$, ВР-174ºС) и ундекан ($C_{11}H_{24}$, ВР-196º). Интеграция пиков *н*-алканов и изопреноидов на хроматограммах осуществлялась следующим образом: а) по методу каждый *н*-алкан выходит в определенном времени удерживания; б) пристан и фитан элюируются после C_{17} и C_{18} соответственно; в) внутренный стандарт (IS) выходит между C_{15} и C_{16}. В таблице 1 представлены полные наименования и формулы интегрированных пиков изопреноидов и *н*-алканов.

Таблица 1 - Наименования пиков на газовом хроматографе и их формулы

Пики	Название	Формула	Пики	Название	Формула	Пики	Название	Формула
nC_6	Гексан		$nC16$	Гексадекан	$C_{16}H_{34}$	nC_{25}	Пентакозан	$C_{25}H_{52}$
nC_7	Гептан	C_7H_{16}	iC_{18}			nC_{26}	Гексакозан	$C_{26}H_{54}$
nC_8	Октан	C_8H_{18}	nC_{17}	Гептадекан	$C_{17}H_{36}$	nC_{27}	Гептакозан	$C_{27}H_{56}$
nC_9	Нонан	C_9H_{20}	Pr	Пристан	$C_{19}H_{40}$	nC_{28}	Октакозан	$C_{28}H_{58}$
nC_{10}	Декан	$C_{10}H_{22}$	nC_{18}	Октадекан	$C_{18}H_{38}$	nC_{29}	Нонакозан	$C_{29}H_{60}$
nC_{11}	Ундекан	$C_{11}H_{24}$	Ph	Фитан	$C_{20}H_{42}$	nC_{30}	Триаконтан	$C_{30}H_{62}$
nC_{12}	Додекан	$C_{12}H_{26}$	nC_{19}	Нонадекан	$C_{19}H_{40}$	nC_{31}	Гентриаконтан	$C_{31}H_{64}$
nC_{13}	Тридекан	$C_{13}H_{28}$	nC_{20}	Эйкозан	$C_{20}H_{42}$	nC_{32}	Дотриаконтан	$C_{32}H_{66}$
iC_{15}			nC_{21}	Генэйкозан	$C_{21}H_{44}$	nC_{33}	Тритриаконтан	$C_{33}H_{68}$
nC_{14}	Тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	nC_{22}	Докозан	$C_{22}H_{46}$	nC_{34}	Тетратриаконтан	$C_{34}H_{70}$
iC_{16}			nC_{23}	Трикозан	$C_{23}H_{48}$	nC_{35}	Пентариаконтан	$C_{35}H_{72}$
nC_{15}	Пентадекан	$C_{15}H_{32}$	nC_{24}	Тетракозан	$C_{24}H_{50}$	nC_{36}	Гексатриаконтан	$C_{36}H_{74}$

Газохроматографическое исследование исследованных образцов месторождения Воточный Урихтау показало (Рисунок.5, 6), что исследованные пробы скважины ВУ-4 имеют ряды УВ только от C_{13} до C_{34}.

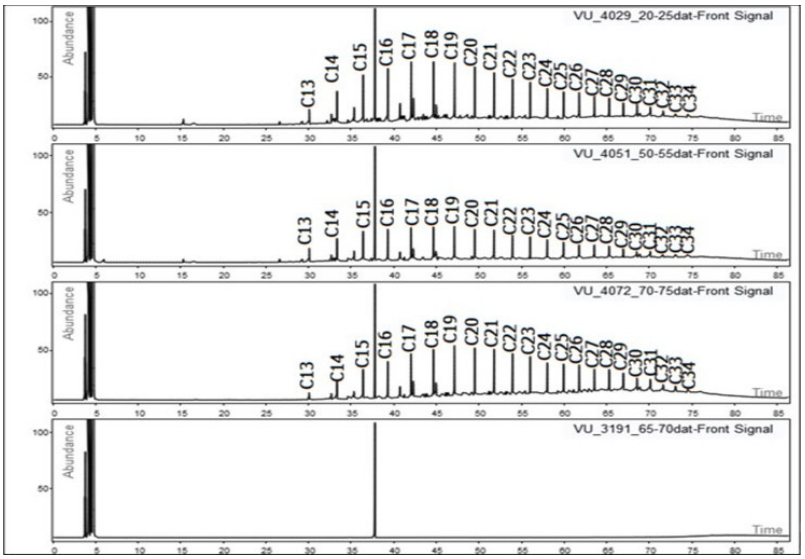


Рис.5 - Хроматограммы исследованных образцов скважины ВУ-4

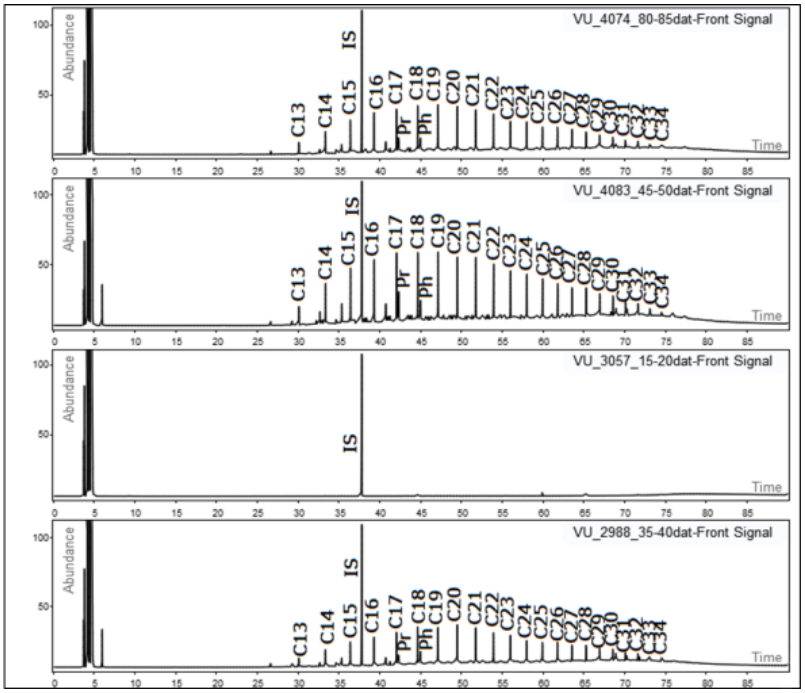


Рис.6 - Хроматограммы исследованных образцов Скважины ВУ-4

Отсутствие легкой фракции УВ в двух исследованных пробах (гл.3057,15 м, 3191,65 м) вполне нормально, так как вероятно эти породы пролежали в воздухе определенное время. Представленные хроматограммы (Рисунок 5, 6) всех исследованных проб скважины ВУ-4 демонстрируют наибольшую концентраци. УВ, приходящихся на пики нормальных алканов C_{10}-C_{12}, а концентрация более тяжелых компонентов снижается вправо. Такое распределение характерно для нефти, образовавшихся из пород морского происхождения.

Биомаркерные параметры (отношения Pr/Ph=0,6-0,8) указывают на восстановительную морскую обстановку осадконакопления с преобладанием карбонатного материала. Эти данные согласуются с результатами газожидкостной хроматографии и подтверждают постепенное возрастание зрелости органического вещества с глубиной.

Выводы. В ходе исследования нефтей восточного Прикаспийского региона (месторождение Восточный Урихтау) с применением метода газожидкостной хроматографии (ГЖХ) изучались состав и молекулярные особенности алканов нормального и изопреноидного типа. На основе анализа установлены слудеющие выводы:

- образцы из скважины ВУ-4 содержат углеводороды в диапазоне углеродного числа от C_{13} до C_{34};

- максимальная концентрация приходится на нормальные алканы с цепочками C_{10}-C_{12}, при этом содержание более тяжелых компонентов постепенно уменьшается. ;

- значения отношения Pr / Ph в исследованных пробах варьируются в пределах 0,6-0,8, не превышая 1,0, что указывает на формирование органического вещества в восстановительной морской среде, характерной для карбонатных нефтематеринских пластов. ;

- образцы с глубин 3057,15 м и 3191,65 м не содержат обнаруживаемых углеводородов, что может быть связано с особенностями отбора и хранения проб, а также с процессами миграции и перераспределения углеводородов в разрезе.

Полученные данные расширяют понимание нефтегазового потенциала восточной части Прикаспийской впадины и служат основой для более точного прогнозирования и планирования дальнейших геохимических исследований региона.

Литература

1. Гордадзе Г.Н., Гируц М.В., Кошолев В.Н. Углеводороды нефти и их анализ методом газовой хроматографии // Москва-Пресс. -2010. - 240 с. ISBN 5317033373, 9785317033378.

2. Мадишева Р.К., Серебренникова О.В., Исаев В.И., Портнов В.С., Оздоев С.М. Состав биомаркеров и происхождение нефтей Арыскумского прогиба (Южный Казахстан) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. -2020. - Т.331 (7).- С.116-130. ISBN 2413-1830.

3. Гордадзе Г.Н., Гируца М.В., Пошибаеваа А.Р., Постниковаа О.В., Пошибаева В.В., Антиповаа О.А., Рудаковскаяб С.Ю, Кошелева В.Н., Мартынова В.Г. Карбонатные коллекторы как нефтематеринские толщи // Journal of Siberian Federal University. Chemistry.-2018. - Т.11(4). - С.575-592. DOI: 10.17516/1998-2836-0101.

4. Ажгалиев Д.К., Исказиев К., Карабалин У. Комплексное изучение осадочных бассейнов - основа эффективного прогноза нефтегазоносности новых территорий // Petroleum. - 2013. -№ 6 (84).- С.22-28.

5. Жолтаев Ж., Кулумбетова Г.Е. Характеристика карбонатных и терригенных подсолевых отложений востока Прикаспийской впадины // Недра Поволжья и Прикаспия.-2019.-№ 98.-С.65-77. DOI 10.24411/1997-8316-2019-19805

6. Даукеев С.Ж., Ужкенов Б.С., Абдулин А.А., Беспаев Х.А., Вотсалевский Е.С., Любецкий В.Н., Мазуров А.К., Мирошниченко Л.А. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана / Нефть и газ.-2002.-№3.- 248 с. ISBN 9965-13-760-9.

7. Мадишева Р.К., Жексенбаева Г.М., Адилханов Р.К., Демеуова А.Б., Исмагулов М.Б., Оспанов А.М. Генеративный потенциал пород месторождения Урихтау // Нефть и газ.-2024. - №3 (141).- С.6-15. DOI 10.37878/2708-0080/2024-3.01.

8. Волож Ю.А., Быкадоров В.А., Антипов М.П., Быкадоров И.В., Парасына В.С., Постникова И.С., Сапожников Р.Б., Хераскова Т.Н. Нефтегазоперспективные объекты палеозойского подсолевого разреза прикаспийской впадины // Санкт-Петербург: Нефтегазовая геология. Теория и практика. -2019. -Т.14(4). - С.1-26.

9. Надиров Н.К., Уразгалиев Б.У., Турков О.С. и др. Подсолевые нефти Прикаспийской впадины /Наука.-1983.- 304 с.

10. Булекбаев З.Е., Воцалевский Э.С., Искужиев Б.А., Камалов С.М., Коростышевский М.Н., Куандыков Б.М., Куантаев Н.Е., Марченко О.Н., Матлошинский Н.Г., Нажметдинов А.Ш., Филипьев Г.П., Шабатин И.В., Шахабаев Р.С., Шудабаев К.С. Месторождения нефти и газа Казахстана / Алматы: Справочник.-1996.- С.325.

11. Отчет по стандартному анализу керна по скважине ВУ-4 месторождение Восточный Урихтау, приложение 6-результаты газохроматографических и биомаркерных анализ (Геохимия). O-LI.02.2311-09/1(1)-04.11.2022.- С. 285-365.

12. Проект отчет о возможных воздействиях, к проекту «Дополнение к Проекту пробной эксплуатации месторождения Восточный Урихтау» // Атырау:-2022.-Договор №10//3/2021 от 05.01.2021. -300 с. URL: https://ecoportal.kz/Public/PubHearings/LoadFile/27688. - Дата обращения: 23.06.2025.

13. Гордадзе Г.Н., Гируц М.В., Кошелев В.Н. Органическая геохимия углеводородов: Книга 2/ Москва: Российский государственный университет нефти и газа имени И.М.Губкина. -2013.- С.303. ISBN: 978-5-91961-0670.

14. Захарченко М.В., Люшин М.М., Осипов А.В. Геохимическая характеристика нефтей Оренбург-

ской области по углеводородам-биомаркерам //НефтеГазоХимия. -2016. - № 4 С.40-43.

References

1. Gordadze G.N., Giruc M.V., Kosholev V.N. Uglevodorody nefti i ih analiz metodom gazovoj hromatografii // Moskva-Press. -2010. - 240 s. ISBN 5317033373, 9785317033378.[in Russian]

2. Madisheva R.K., Serebrennikova O.V., Isaev V.I., Portnov V.S., Ozdoev S.M. Sostav biomarkerov i proishozhdenie neftej Aryskumskogo progiba (Juzhnyj Kazahstan) // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. -2020. - T.331 (7).- S.116-130. ISBN 2413-1830. [in Russian]

3. Gordadze G.N., Giruca M.V., Poshibaevaa A.R., Postnikovaa O.V., Poshibaeva V.V., Antipovaa O.A., Rudakovskajab S.Ju, Kosheleva V.N., Martynova V.G. Karbonatnye kollektory kak neftematerinskie tolshhi // Journal of Siberian Federal University. Chemistry.-2018. - T.11(4). - S.575-592. DOI: 10.17516/1998-2836-0101. [in Russian]

4. Azhgaliev D.K., Iskaziev K., Karabalin U. Kompleksnoe izuchenie osadochnyh bassejnov - osnova jeffektivnogo prognoza neftegazonosnosti novyh territorij // Petroleum. - 2013. -№ 6 (84).- S.22-28. [in Russian]

5. Zholtaev Zh., Kulumbetova G.E. Harakteristika karbonatnyh i terrigennyh podsolevyh otlozhenij vostoka Prikaspijskoj vpadiny // Nedra Povolzh’ ja i Prikaspija.-2019.-№ 98.-S.65-77. DOI 10.24411/1997-8316-2019-19805. [in Russian]

6. Daukeev S.Zh., Uzhkenov B.S., Abdulin A.A., Bespaev H.A., Votsalevskij E.S., Ljubeckij V.N., Mazurov A.K., Miroshnichenko L.A. Glubinnoe stroenie i mineral’ nye resursy Kazahstana / Neft’ i gaz.-2002.-№3.- 248 c. ISBN 9965-13-760-9. [in Russian]

7. Madisheva R.K., Zheksenbaeva G.M., Adilhanov R.K., Demeuova A.B., Ismagulov M.B., Ospanov A.M. Generativnyj potencial porod mestorozhdenija Urihtau // Neft’ i gaz.-2024. - №3 (141).- S.6-15. DOI 10.37878/2708-0080/2024-3.01. [in Russian]

8. Volozh Ju.A., Bykadorov V.A., Antipov M.P., Bykadorov I.V., Parasyna V.S., Postnikova I.S., Sapozhnikov R.B., Heraskova T.N. Neftegazoperspektivnye ob#ekty paleozojskogo podsolevogo razreza prikaspijskoj vpadiny // Sankt-Peterburg: Neftegazovaja geologija. Teorija i praktika. -2019. -T.14(4). - S.1-26. [in Russian]

9. Nadirov N.K., Urazgaliev B.U., Turkov O.S. i dr. Podsolevye nefti Prikaspijskoj vpadiny /Nauka.-1983.- 304 c. [in Russian]

10. Bulekbaev Z.E., Vocalevskij Je.S., Iskuzhiev B.A., Kamalov S.M., Korostyshevskij M.N., Kuandykov B.M., Kuantaev N.E., Marchenko O.N., Matloshinskij N.G., Nazhmetdinov A.Sh., Filip’ ev G.P., Shabatin I.V., Shahabaev R.S., Shudabaev K.S. Mestorozhdenija nefti i gaza Kazahstana / Almaty: Spravochnik.- 1996.- S.325. [in Russian]

11. Otchet po standartnomu analizu kerna po skvazhine VU-4 mestorozhdenie Vostochnyj Urihtau, prilozhenie 6-rezul’ taty gazohromatograficheskih i biomarkernyh analiz (Geohimija). O-LI.02.2311-09/1(1)-04.11.2022.- S.285-365. [in Russian]

12. Proekt otchet o vozmozhnyh vozdejstvijah, k proektu «Dopolnenie k Proektu probnoj jekspluatacii mestorozhdenija Vostochnyj Urihtau» // Atyrau:-2022.-Dogovor №10//3/2021 ot 05.01.2021. -300 s. URL: https://ecoportal.kz/Public/PubHearings/LoadFile/27688. - Data obrashhenija: 23.06.2025. [in Russian]

13. Gordadze G.N., Giruc M.V., Koshelev V.N. Organicheskaja geohimija uglevodorodov: Kniga 2/

Moskva: Rossijskij gosudarstvennyj universitet nefti i gaza imeni I.M.Gubkina. -2013.- S.303. ISBN: 978-5-91961-0670. [in Russian]

14. Zaharchenko M.V., Ljushin M.M., Osipov A.V. Geohimicheskaja harakteristika neftej Orenburgskoj oblasti po uglevodorodam-biomarkeram //NefteGazoHimija. -2016. - №4 S.40-43. [in Russian]

Сведение об авторах

Адилханов Р.К. - докторант, Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: rkbnm82@mail.ru;

Мадишева Р.К. - PhD, ассоциированный профессор, Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: rimma_kz@mail.ru;

Жексенбаева Г.М. - докторант, Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: Gulmira_zh91@mail.ru;

Успенский Б.В. - д.г.-м.н., профессор, Казанский федеральный университет, Казань, Российский Федерация, e-mail: Boris.Uspensky@kpfu.ru;

Токушева Ж.Т. - преподователь, Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: jtokusheva@mail.ru;

Иманбаева С.Б. - PhD, и.о.доцента, Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: svetakaz77@mail.ru;

Абдрахманова С.Т. - сеньер лектор, Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан, e-mail: Saule_abdrahmanova.janzakova@mail.ru;

Оспанов А.М. - докторант, Карагандинский технический университет им. А.Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: Adilkozha@mail.ru.

Information about authors

Adilkhanov R.K. - doctoral student, A.Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: rkbnm82@mail.ru;

Madisheva R.K. - PhD, associate professor, A.Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: rimma_kz@mail.ru;

Zhexenbayeva G.M.- doctoral student, A.Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: Gulmira_zh91@mail.ru;

Uspenskii B.V. - doctor of geological and mineralogical sciences, professor, Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation, e-mail: Boris.Uspensky@kpfu.ru;

Tokusheva Z.T. - university lecturer, A.Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: jtokusheva@mail.ru;

Imanbaeva S.B. - PhD, acting associate professor, A.Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: svetakaz77@mail.ru;

Abdrakhmanova S.T. - senior lecturer, Ualikhanov University, Kokshetau, Kazakhstan, e-mail: Saule_abdrahmanova.janzakova@mail.ru;

Ospanov A.M. - doctoral student, A.Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: Adilkozha@mail.ru.

ҒТАМР 06.77.59 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-786**

ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКА ЖАҒДАЙЫНДА АДАМИ КАПИТАЛДЫ БАҒАЛАУ

[1]Ж.Б. Рахметулина✉, [2]А.С. Бухатова, [2]Г.Т. Дюсупова, [3]А.А. Рахметулина

[1]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,
[2]С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан,
[3]«Sana Holding Ltd» компаниясы, Астана, Қазақстан
✉*Корреспондент-автор: rahmetulina_zh@mail.ru*

Мақала цифрлық экономика жағдайында адами капиталды бағалаудың Composite Development Index (CDI) және Comprehensive Capital Index (CCI) екі интегралды тәсілін әзірлеуге және салыстырмалы талдауға арналған. Зерттеудің мақсаты CDI моделінде адами даму индексі (HDI), цифрлық трансформация индексі (DTI) және тұрақты даму индексі (SDI) арасындағы өзара байланысты ресімдеу, CCI моделінде цифрлық құзыреттер мен кәсіби дағдылар индикаторларын тереңірек интеграциялау болып табылады. Жұмыста нормалау әдістері, индекс талдауы және визуализация қолданылды. Мысал ретінде Қазақстанға қатысты деректер таңдалды. Мақалада халықтың өмір сүру деңгейін көрсететін интегралды көрсеткіш ретінде адами даму индексін қолданудың артықшылықтары мен шектеулері қарастырылды. Нәтижелер CDI жалпы даму бағасын беретінін, ал CCI кадрлардың цифрлық ортадағы даму әлеуетін тереңірек түсіндіруге мүмкіндік беретінін көрсетті. Ұсынылған модельдер білім, цифрландыру және жұмыспен қамту саласындағы мемлекеттік саясатты жетілдіру үшін пайдаланылуы мүмкін. Ғылыми жаңалығы - композиттік бағалауларды Қазақстан экономикасының цифрлық трансформациясына бейімдеу және адами даму индексінен (HDI) кеңейтілген CDI және CCI индекстеріне өту қажеттілігін негіздеу. Жаңа құзыреттерді қалыптастыру және адам әлеуетін дамытуға инвестициялар басымдыққа айналатын адами капиталды дамыту саясатын цифрлық экономика жағдайларына бейімдеу қажеттілігі туралы қорытынды жасалды.

Түйін сөздер: адами капитал, цифрлық экономика, адам дамуының индексі, денсаулық сақтауды цифрландыру.

ОЦЕНКА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

[1]Ж.Б. Рахметулина✉, [2]А.С. Бухатова, [2]Г.Т. Дюсупова, [3]А.А. Рахметулина

[1]Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]С. Восточно-Казахстанский университет имени Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан,
[3]Компания Sana Holding Ltd, Астана, Казахстан,
e-mail: rahmetulina_zh@mail.ru

Статья посвящена разработке и сравнительному анализу двух интегральных подходов к оценке человеческого капитала в условиях цифровой экономики: Composite Development Index (CDI) и Comprehensive Capital Index (CCI). Целью исследования является формализация взаимосвязи между индексом человеческого развития (HDI), индексом цифровой трансформации (DTI) и индексом устойчивого развития (SDI) в модели CDI, а также более глубокой интеграции индикаторов цифровых компетенций и профессиональных навыков в модели CCI. В работе применены методы нормализации, индексного анализа. В качестве примера были выбраны данные по Казахстану. В работе были рассмотрены преимущества и ограничения применения индекса человеческого развития в качестве интегрального показателя уровня жизни населения. Результаты показали, что CDI предоставляет обобщённую оценку развития, тогда как CCI позволяет глубже интерпретировать потенциал развития кадров в цифровой среде. Предложенные модели могут быть использованы для совершенствования государственной политики в области образования, цифровизации и занятости. Научная новизна заключается в адаптации композитных оценок к условиям цифровой трансформации экономики Казахстана и обосновании перехода от индекса человеческого развития (HDI) к расширенным индексам CDI и CCI. Сделан вывод о необходимости адаптации политики

развития человеческого капитала к условиям цифровой экономики, где приоритетом становится формирование новых компетенций и инвестиции в развитие человеческого потенциала.

Ключевые слова: человеческий капитал, цифровая экономика, индекс человеческого развития, цифровизация здравоохранения.

ASSESSMENT OF HUMAN CAPITAL IN THE CONDITIONS OF THE DIGITAL ECONOMY

[1]Zh.B. Rakhmetulina✉, [2]A.S. Bukhatova, [2]G.T. Dyusupova, [3]A.A. Rakhmetulina

[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]S. Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
[3]Sana Holding Ltd, Astana, Kazakhstan,
e-mail: rahmetulina_zh@mail.ru

The article is devoted to the development and comparative analysis of two integrated approaches to assessing human capital in the digital economy: Composite Development Index (CDI) and Comprehensive Capital Index (CCI). The purpose of the study is to formalize the relationship between the Human Development Index (HDI), Digital Transformation Index (DTI) and Sustainable Development Index (SDI) in the CDI model, as well as a deeper integration of digital competencies and professional skills indicators in the CCI model. The work applies the methods of normalization, index analysis and visualization. Data for Kazakhstan were chosen as an example. The paper considered the advantages and limitations of using the Human Development Index as an integrated indicator of the standard of living of the population. The results showed that the CDI provides a generalized assessment of development, while the CCI allows for a deeper interpretation of the potential for personnel development in the digital environment. The proposed models can be used to improve public policy in the field of education, digitalization and employment. The scientific novelty lies in the adaptation of composite assessments to the conditions of the digital transformation of the economy of Kazakhstan and the justification of the transition from the Human Development Index (HDI) to the expanded indices CDI and CCI. A conclusion is made about the need to adapt the human capital development policy to the conditions of the digital economy, where the priority is the formation of new competencies and investments in the development of human potential.

Keywords: human capital, digital economy, human development index, digitalization of healthcare.

Кіріспе. Қазақстан Республикасының экономикалық дамуының қазіргі кезеңі қоғамдық өмірдің барлық салаларын қамтитын және елдің бәсекеге қабілеттілігін арттырудағы негізгі факторға айналған белсенді цифрлық трансформациямен сипатталады. Цифрлық экономикаға көшу өндірістік қатынастардың, жұмыспен қамту құрылымының, еңбек ресурстарының сапасына қойылатын талаптардың түбегейлі өзгеруіне алып келеді және білім, дағды және цифрлық құзыреттерге негізделген жаңа құндылық түрі – адами капиталдың қалыптасуын қамтамасыз етеді [1].

2017 жылдан бастап «Цифрлы Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы ұлттық экономиканы цифрландыру стратегиясын жүзеге асырып келеді, оның негізгі мақсаты - халықтың толық интернетке қолжетімділігін қамтамасыз ету және негізгі салаларды цифрлық трансформациялау болып табылады.2023 жылы қабылданған «2023-2029 жылдарға арналған ақпараттық-коммуникациялық технологиялар саласын және киберқауіпсіздікті цифрлық трансформациялау мен дамыту тұжырымдамасы» халықтың цифрлық сауаттылығын дамыту тұрақты өсім мен әлеуметтік бейімделудің негізі ретінде алға тартады. Бұл құжаттар білім беру және кадрлар саясатын XXI ғасыр құзыреттерін қалыптастыруға бағыттайды, атап айтқанда: сыни ойлау, пәнаралық ынтымақтастық, деректерді басқару, цифрлық шығармашылық және цифрлық ортада қажет басқа да дағдылар.

Қазіргі уақытта Қазақстан цифрлық жетілу деңгейі бойынша әлемдік рейтингте тұрақты

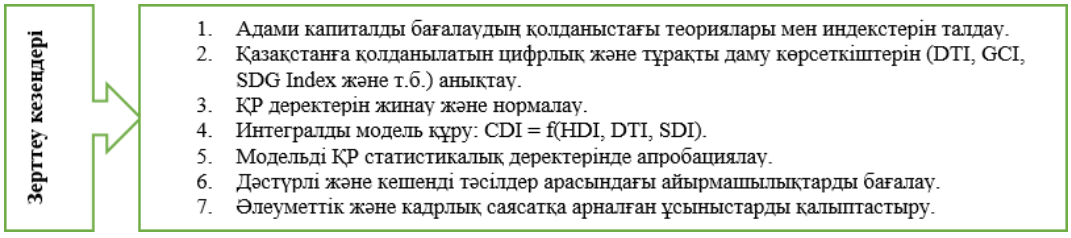
прогрессті көрсетіп, өз позицияларын нығайтуда. Біріккен Ұлттар Ұйымының электрондық үкіметтің даму индексі (EGDI, 2024) бойынша еліміз 193 мемлекет арасынан 24-орынға ие болып, өз аймақтық серіктестерінен, соның ішінде Ресейден (56-орын), Арменияданан (53-орын), Өзбекстаннан (59-орын), Түрікменстаннан (172-орын) озып тұр. Сонымен қатар, Қазақстан онлайн қызметтер Индексі (Online Service Index, OSI) бойынша алғашқы ондыққа енді, бұл мемлекеттік цифрлық қызметтердің қолжетімділігі, интерактивтілігі және сапасының жоғары деңгейін көрсетеді.

Электрондық үкімет платформасын жаңғырту жоспарланып отыр, оның аясында жасанды интеллект (ЖИ) және үлкен деректерді қолданатын eGov 3.0 үшінші нұсқасына көшу қарастырылған. Ақпараттық технологиялар қызметтерін экспорттау 86 елді қамтиды, олардың арасында Ресей, Ирландия, Мексика, АҚШ және Сингапур сияқты нарықтар бар, бұл Қазақстанның IT секторының халықаралық бәсекеге қабілеттілігін айғақтайды [2].

Трансформациялық кезеңде ұлттық экономиканың бейімделуі мен инновациялық әлеуетін қамтамасыз етуге қабілетті адами капиталды (АҚ) мониторингтеу және бағалау үшін жаңа құралдарға қажеттілік артуда. Біріккен Ұлттар Ұйымының Дамуы бағдарламасы әзірлеген дәстүрлі адами даму индексі (Human Development Index, HDI) өмір сүру ұзақтығының күтілетін ұзақтығы, білім деңгейі және адам басына шаққандағы табыс сияқты өмір сүру деңгейінің маңызды интегралды көрсеткіштері ретінде сақталып келеді. Алайда, қазіргі заманғы талаптар оны цифрлық қатысу мен тұрақтылықты көрсететін жаңа параметрлермен толықтыруды қажет етеді.

Халықаралық тәжірибеде IMD цифрлық бәсекеге қабілеттілік индексі (WDCI), ITU-дан АКТ-ны дамыту индексі, сондай-ақ еңбек өнімділігі мен еңбек нарығындағы тұрақтылыққа әсер ететін цифрлық дағдылар мен икемді құзыреттердің жеке көрсеткіштері сияқты кеңейтілген индекстер қолданылады [3,4]. Алайда, Қазақстан контекстінде цифрлық экономикадағы адами капиталды интегралды бағалау мәселесі жеткілікті зерттелмеген, бұл осы зерттеудің өзектілігін айқындайды.

Зерттеудің мақсаты - Қазақстан Республикасында адами капиталды бағалаудың кешенді әдістемесін әзірлеу және апробациялау, ол дәстүрлі адами даму көрсеткіштері (HDI) мен цифрлық трансформация метрикалары (DTI) және тұрақты даму көрсеткіштерін (SDI) біріктіреді. Сонымен қатар, цифрлық экономика жағдайында адами капиталды стратегиялық және функционалдық бағалауға бағытталған екі интегралды модель - Composite Development Index (CDI) және Comprehensive Capital Index (CCI) - салыстырмалы талдауы жүргізілді.



1 - сурет. Зерттеу кезеңдері

Ескерту - авторлармен әзірленген

Зерттеу нысаны - Қазақстан Республикасының экономикасын цифрландыру жағдайындағы адами капитал. Зерттеу пәні - HDI, DTI және SDI индекстерін біріктіруге негізделген адами капиталды кешенді бағалаудың әдістемелік тәсілдері мен құралдары. Зерттеу гипотезасы - HDI, DTI және SDI индекстерін біртұтас композиттік модельге интеграциялау адами

капиталдың қазіргі жағдайын дәлірек бағалауға және цифрлық экономика жағдайында стратегиялық жоспарлаудың сапасын арттыруға мүмкіндік береді. CCI моделі CDI-ге қарағанда сезімтал әрі қолданбалы құрал болып табылады, өйткені ол макроэкономикалық сипаттамалармен қатар, цифрлық және кәсіби дағдыларды қоса алғанда, еңбек ресурстарының құзыреттілік профилінің функционалдық параметрлерін ескеруге мүмкіндік береді.

Ұсынылған тәсілдер мен есептік индекстер цифрландыру жағдайында адами капиталды бағалаудың объективті және функционалдық модельдерін құру міндетін шешуге бағытталған және осы саладағы стратегиялық құжаттарды әзірлеу барысында қолданылуы мүмкін.

1 суретте аталған зерттеудің кезеңдері көрсетілген.

Материалдар мен әдістер. Цифрлық экономиканың адами капиталға әсерінің әртүрлі аспектілерін талдауға көптеген ғалым-зерттеушілердің еңбектері арналды. Мысалы, Кибаева А.Б. мен Тусупова Л.А. Қазақстанның цифрлық экономикасындағы адами капиталды бағалау әдістемесін ұсынды. Олар адами даму индексінің (HDI) динамикасын талдап, білім деңгейі, табыс және өмір сүру ұзақтығының күтілетін көрсеткіштеріне, сондай-ақ цифрлық құзыреттерге ерекше назар аударды. Сонымен қатар, олар HDI-дің интегралды көрсеткіш ретіндегі артықшылықтары мен шектеулеріне тоқталды [5].

Хачатурян А.А. өзінің еңбектерінде автоматтандыру бірқатар мамандықтардың жойылуына, когнитивтік қабілеттердің өзгеруіне және кадрлардың бейімделу қиындығына әкелуі мүмкін екенін атап көрсетті [6].

Ершова И.Г., Каракулин А.Ю. және басқалар өз жұмыстарында кадрларды даярлау процестерін реттеуге қатысты ұсыныстар беріп, аймақтық даму үшін цифрлық құзыреттіліктің маңыздылығын ерекше атап көрсетті [7].

Аманбек Э., Балғаев И. және басқалар e-government жүйесінің халықтың цифрлық сауаттылығына әсерін зерттеп, цифрлық қызметтерді білу HDI деңгейі мен азаматтық белсенділікке тікелей байланысты екенін көрсетті [8].

Сембеков А., Тажбаев Н. және басқалары өз зерттеулерінде жаһандық үрдістер аясында экономиканы цифрлық жаңғырту ролін талдап, адами капиталды жаңа цифрлық талаптарға бейімдеу қажеттігін білдірді [9].

Дүниежүзілік банк «Resilient Digital Kazakhstan» есебінде цифрлық дағдыларды дамыту экономиканың тұрақтылығы үшін адами капиталды қалыптастырудағы негізгі фактор ретінде бөліп көрсетті [10]. Еуропалық білім қоры (ETF) «Torino Process» арқылы Қазақстанның дағдыларды даярлау саласындағы саясатының цифрлық құрамды күшейту және оны білім беру бағдарламаларына интеграциялау қажеттігін атап өтті [11]. Орталық және Шығыс Еуропа елдерін зерттеу (CEECs) цифрландыру деңгейі, ақпараттық-коммуникациялық технологияларға инвестициялар және халықтың әл-ауқаты арасында тұрақты оң байланысты растады. Дегенмен, олардың тәсілдері негізінен макроаумақтық деректерге бағытталған болып, ұлттық контексттерге терең бейімделмеген.

Еңбектерінде Flores және әріптестері [12] Human Capital 4.0 кешенді құрылымдық моделін әзірледі, онда цифрлық дағдылар еңбек нарығының қазіргі заманғы талаптарына бейімделудің негізгі құзыреті ретінде көрсетілген. Putri R. [13] цифрлық құзыреттілік, инновациялық қабілет және адами капиталды басқару стратегияларын интеграциялаудың формальдандырылған тәсілін ұсынды, ол ұйымдардың цифрлық дәуірдегі бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз етеді. Дегенмен, біздің пікірімізше, ол ұлттық деңгейдегі адами капиталдың деңгейі мен цифрлық индикаторлардың ерекшеліктерін жеткіліксіз ескерген.

Көптеген модельдер денсаулық, білім және негізгі цифрлық дағдыларға баса назар аударса да, сыни ойлау, жүйелік ойлау және эмоциялық интеллект сияқты жұмсақ құзыреттерді елемейді. Әдебиеттер шолуы HDI классикалық үштігінен бастап институционалдық модельдер мен цифрлық метрикаларға дейінгі әртүрлі тәсілдерді көрсетеді және Қазақстан жағдайына бейім-

делген кешенді модель құру қажеттілігін айқындайды.

Қазіргі контексте цифрлық экономика жағдайындағы адами дамуды және капитализацияны бағалаудың негізгі құралдары дамып, дәстүрлі және инновациялық көрсеткіштерді қамтиды. Адами дамудың дәстүрлі және кеңейтілген индекстерін қарастырайық. Біріккен Ұлттар Ұйымының Даму бағдарламасы (UNDP) әзірлеген үш құрамдас бөліктен тұратын адами даму Индексі (HDI) өмір сүру деңгейін бағалаудың негізгі құралы ретінде қолданылады. Ішкі әлеуметтік теңсіздіктерді ескеретін адами даму Индексі теңсіздікті есепке алумен (IHDI) ерекшеленеді. Жаңа құралдар (арнайы панельдер, құрылымдық индекстер) көміртегі ізіне, экологиялық шығындарға және тұрақтылыққа түзетулер енгізді.

Енді цифрландыру және цифрлық бәсекеге қабілеттілік Индекстеріне тоқталайық. IMD-ның World Digital Competitiveness Index (WDCI/WDCR) индекстері мемлекеттердің цифрлық трансформацияға дайындықтары мен қабілеттерін үш өлшем бойынша сипаттайды: білім, технология және болашақ даму.2025 жылы Қазақстан 67 елдің ішінде 34-орынды иеленді, алайда елде аналитикалық, технологиялық және кадрлық құрамдас бөліктер арасында елеулі теңсіздіктер байқалады [14]. Халықаралық байланыс одағының (ITU) ICT Development Index (IDI) инфрақұрылымның қолжетімділігін, ICT қолдану дағдыларын және олардың пайдаланылуын көрсетеді. Еуропалық Одақта қолданылатын Digital Economy and Society Index (DESI) адами капитал, технологияларды интеграциялау, мемлекеттік қызметтер және басқа көрсеткіштерді қамтиды. Global Connectivity Index (GCI) жаһандық деңгейдегі қосылу деңгейін бағалайды, бұл рейтингте Қазақстан жоғарғы позицияларда тұр.

HDI, IHDI және цифрлық бәсекеге қабілеттілік индекстерін қолданумен қатар, келесі олқылықтарды атап өтуге болады: HDI-ді цифрлық компоненттермен (IDI немесе DESI) байланыстыратын кешенді рейтингтердің жетіспеушілігі; адами капитал мен цифрлық трансформация арасындағы өзара әрекетті бір модельде есепке алатын жүйелік индекстердің жоқтығы.

Зерттеуде есептеулер үшін Қазақстан Республикасының Ұлттық статистика бюросының ресми деректері [15], БҰҰ Даму бағдарламасының есептері [16], WDCI деректері [4] және автордың өз есептеулері қолданылды. Нормалау әдістері (мин-макс шкалалау), салмақталған агрегаттау және композиттік индекстеу әдістері пайдаланылды.

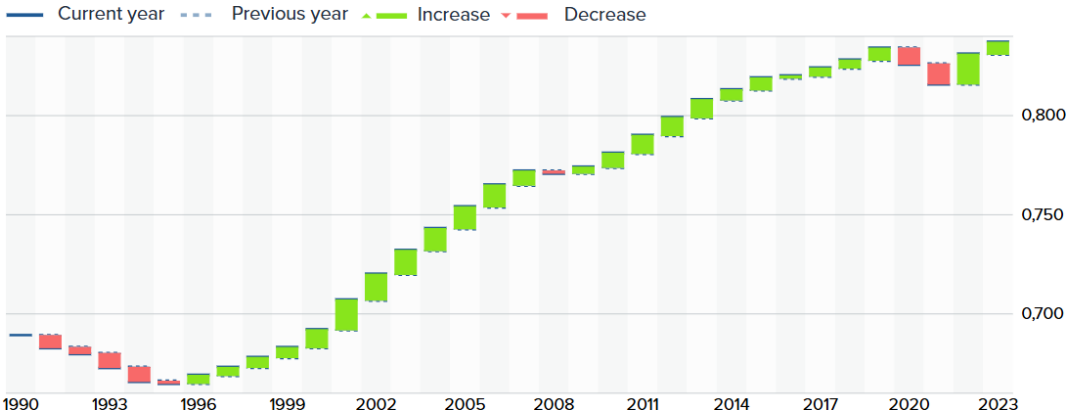
Нәтижелер және талқылау. 2023 жылы Қазақстанның HDI көрсеткіші 0,837 құрады, бұл «Адами дамудың өте жоғары деңгейі» санатына жатады және 193 елдің ішінде 60-орынға орналастырды (2 және 3-суреттер).

1990 жылдан 2023 жылға дейінгі кезеңде Қазақстанның HDI көрсеткіші 21,5% өсіп, 0,689-дан 0,837-ге дейін жетті. Қазақстанда туу сәтіндегі күтілетін өмір сүру ұзақтығы 8,7 жылға өзгерді, күтілетін оқу ұзақтығы 1,8 жылға, ал орташа оқу ұзақтығы 5 жылға ұзарды. Осы кезеңде Қазақстанда жан басына шаққандағы жалпы ұлттық өнім (ЖҰӨ) шамамен 67,2% өсті. Айта кету керек, Қазақстанның кең аумақтық көлемі мен халықтың біркелкі таралмауы адами капиталдың өңірлік бөлінісінде елеулі айырмашылықтарға әкеледі. Әлеуметтік-демографиялық сипаттамаларды талдау барысында территориялық асимметрия айқын байқалады, бұл ресурстық-қауымдастырылған экономикалық модель басым елдерге тән құбылыс болып табылады, мұнда экономикалық көрсеткіштер формалды түрде оң динамиканы көрсетсе де, жергілікті деңгейде адами әлеуеттің тұрақты дамуын қамтамасыз етпейді.

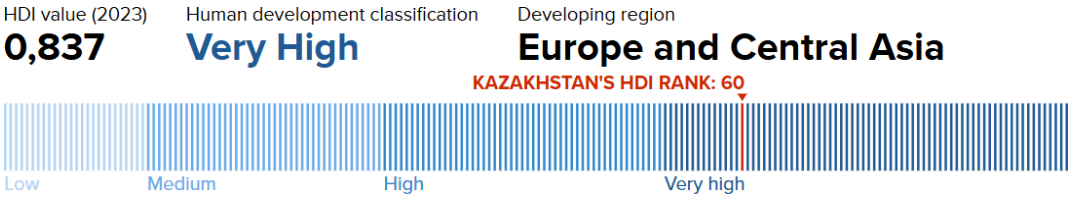
Қазақстан Республикасының цифрлық экономика жағдайында адами капиталдың күйін дәлірек бағалау үшін дәстүрлі адами даму көрсеткіштерін цифрлық трансформация және тұрақты даму жаңа метрикаларымен біріктіретін кешенді тәсіл қажет. Мақалада біз осындай тәсілдің негізгі элементтері мен ғылыми негіздемесін ұсынамыз, сондай-ақ оның Қазақстанда практикалық қолдану мүмкіндіктерін көрсетеміз:

1. HDI және цифрлық индекстерді интеграци-

ялау: HDI+ композиттік индексін қалыптастыру. Белгілі болғандай, HDI құрамына өмір сүру ұзақтығы, білім деңгейі және жан басына шаққандағы жалпы ұлттық табыс кіреді. Алайда, біздің пікірімізше, қоғамның цифрлануы цифрлық сауаттылық, технологияларға қолжетімділік, цифрлық дағдылар деңгейі және АКТ инфрақұрылымы сияқты жаңа параметрлерді есепке алуды талап етеді. Осыған байланысты, DESI құрамдастары немесе Халықаралық байланыс одағының (ITU) ICT Skills Index негізінде жасалған Digital Skills Index-ті, цифрлық қамтылу деңгейін (мобильді интернет, цифрлық мемлекеттік қызметтерге қолжетімділік), цифрлық білімге салынған инвестиция көлемін және еңбек нарығындағы цифрлық мамандықтардың үлесін қамтитын HDI+ композиттік индексін ұсынуға болады. Біздің пікірімізше, осындай интеграция адами капиталдың цифрлық экономикада жұмыс істеуге нақты дайындық деңгейін көрсетуге мүмкіндік беріп, өмір сүру сапасымен қатар халықтың цифрлық бейімделуін де ескеруге жағдай жасайды.



2 - сурет. Қазақстанның HDI үрдістері 1990 - 2023 жж
Дереккөз - [17]



3 - сурет.2023 жылғы Қазақстанның HDI мәні
Дереккөз - [17]

2. Әлеуметтік теңсіздік пен экологиялық факторларға түзету. Қазіргі заманғы модельдер (IHDI) «өсу әлеуметтік құнын» есепке алуды, яғни экологиялық зиян мен цифрлық қолжетімділіктің теңсіз таралуымен байланысты шығындарды ескеруді көздейді. Біздің ойымызша, цифрлық теңсіздік коэффициентін енгізуге болады, яғни ICT-қа қолжетімділіктің қала мен ауыл, сондай-ақ жастық және табыстық топтар арасындағы қатынасын есепке алу қажет. Сонымен қатар, табыс құрамдасын жан басына шаққандағы көміртегі ізін және ICT инфрақұрылымындағы қайта жаңартылатын энергия көздерінің үлесін ескере отырып түзетуді көздейтін тұрақтылық коэффициентін (Sustainability Ratio) енгізу маңызды. Бұл Қазақстан үшін өте маңызды, өйткені елде аймақтық және табыстық диспропорциялар бар.

3. «Digital Kazakhstan» сияқты трансформациялық платформаларды пайдалану, олар «оқитын экономика» (learning economy) механизмдерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді, мұнда цифрлық және адами ресурстар туралы деректер шешімдерді жедел түзету үшін негіз бола алады. Осы арқылы HDI+ және басқа индекстерді ұлттық цифрлық трансформация мониторингінің панеліне интеграциялау немесе «Egov» мемлекеттік қызметтерінің бірыңғай терезесі, білім беру платформалары, кадрлық биржалар және HR жүйелерінің деректерін пайдаланып, құзыреттер мен дағдылар туралы ақпаратты агрегаттауға болады. Сонымен қатар, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігіне, ҚР Цифрлық даму, инновациялар және аэроғарыш өнеркәсібі министрлігіне (ҚР ЦДИАӨМ), Қазақстан Республикасы еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігіне (МТСЗ РК) аналитикалық дашбордтарды енгізу ұсынылады, олар аймақтардағы адами капиталдың әлсіз және күшті жақтарын автоматты визуализациялайды.

4. Адами капиталды ұлттық және аймақтық деңгейлерде бағалау алгоритмін әзірлеу: 1) Деректерді жинау (HDI, ICT дағдылары, EdTech саласына инвестициялар, цифрлық мамандықтар, инфрақұрылым бойынша статистика); 2) Агрегациялау (Қазақстанның аймақтары бойынша HDI+ құру); 3) Бенчмарктермен салыстыру (ЭЫДҰ және ТМД елдерімен).

Қазақстанның цифрлық трансформация жағдайында адами капиталды кешенді бағалау тәсілі: цифрлық және негізгі құзыреттердің тапшылығын дәлірек диагностикалауға; аймақтар мен әлеуметтік топтар арасындағы диспропорцияларды ескеруге; Қазақстан Республикасындағы тұрақты өсім мақсаттарын жүзеге асыруға бағытталған ұлттық цифрлық адами капитал индексін құрудың негізі болуға мүмкіндік береді.

Осы зерттеуде цифрлық экономика жағдайында адами капиталды бағалаудың екі интеграциялық моделі ұсынылған: Composite Development Index (CDI) және Comprehensive Capital Index (CCI). Олардың есебі негізгі әлеуметтік-экономикалық және цифрлық көрсеткіштердің 0-ден 1-ге дейінгі шкалада нормаланған агрегатталуына негізделген. Әдістеме халықаралық деңгейде мойындалған индекстерге (HDI, DESI, SDG Index) сүйеніп, Қазақстан мен Орталық Азия елдерінің әлеуметтік-экономикалық нақты жағдайларына бейімделген.

Composite Development Index (CDI) композиттік индексі келесі формула бойынша есептеледі:

$$CDI = \omega_1 \cdot HDI + \omega_2 \cdot DTI + \omega_3 \cdot SDI$$

Мұнда:

HDI - адам дамуының индексі (БҰҰДБ),

DTI - цифрлық трансформация индексі (DESI/IMD моделі бойынша),

SDI - тұрақты даму индексі (SDG индексі негізінде),

ω_1, ω_2, ω_3 (0.4; 0.3; 0.3) - цифрлық және тұрақты өсу стратегиясының басымдықтарын көрсететін салмақтар.

Цифрлық экономикадағы адами капиталды бағалаудың интегралды индексі CCI (Comprehensive Capital Index) адами капиталдың құрылымдық әлеуетін бағалауға арналған және негізгі компоненттерге (білім, денсаулық, табыс) баса назар аударады. Формула келесідей:

$$CCI = \omega_1 \cdot HDI + \omega_2 \cdot DTI + \omega_3 \cdot SDI,$$

мұнда салмақтар өзгертілген ω_1=0,5, ω_2=0,3, ω_3=0,2,

негізгі әлеуметтік-экономикалық сипаттамаларға назар аудара отырып.

CDI композиттік индексін негізделген құру үшін біз БҰҰ формулалары мен халықаралық ұйымдардың бейімделген әдістерін қолдана отырып, ашық мәліметтер негізінде HDI, TDI және SDI индекстерінің мәндерін есептейміз.

HDI БҰҰДБ (UNDP) әдістемесі бойынша үш нормаланған көрсеткіштің орташа геометриялық мәні ретінде есептеледі:

$$HDI = (I \cdot I_{Edu} \cdot I_{GNI})^{\frac{1}{3}}$$

Мұнда:

I - өмір сүру ұзақтығының индексі;

I_{Edu} - білім индексі;

I_{GNI} - жан басына шаққандағы жалпы ұлттық табыс индексі (САҚП бойынша).

Халықаралық дереккөздермен салыстырмалылықты қамтамасыз ету мақсатында есептеулерде Қазақстанның 2023 жылғы ресми HDI мәні пайдаланылады, ол Human Development Report *[17]* есебінде жарияланған: HDI (Қазақстан, 2023) = 0,837.

1 - кесте. HDI есептеуге арналған деректер

Компонент	*Индикатор*
Өмір сүру ұзақтығы	74,4 жас
Оқытудың орташа ұзақтығы	12,5 жыл
Жан басына шаққандағы ЖҰӨ (САҚП, $)	$11 000

Ескерту: дереккөздер негізінде авторлармен құрастырылған [17]

DTI методикасы Еуропалық комиссияның DESI (Digital Economy and Society Index) және IMD World Digital Competitiveness Ranking модельдеріне негізделген. Екі модельде де негізгі домендер ретінде келесілер қарастырылады: Connectivity (интернетке қолжетімділік), Digital Public Services (цифрлық мемлекеттік қызметтер), Human Capital (халықтың цифрлық дағдылары) (2-кесте).

2 - кесте. Цифрландыру индикаторлары (DTI)

Индикатор	**Мәні**	**Салмақ, %**	**Дерек көз/ негіздеме**
Интернетке қол жеткізу деңгейі	0.79	30	БҰҰ Ұлттық статистика бюросы, 2023 ж. (интернетке қол жеткізе алатын үй шаруашылығының үлесі — 79 %)
Цифрлық мемлекеттік қызметтер	0.84	30	ҚР ЦДИАӨМ, 2023 ж. (eGov қызметтерін белсенді қолданушылар үлесі)
Сандық құзыреттілік индексі	0.56	40	DESI және IMD World Digital Competitiveness Ranking индекстерін бейімдеу, 2023 ж. (цифрлық сауаттылық, цифрлық өзара әрекеттестік және білім беру жүйесіндегі ICT ресурстарын пайдалану нәтижелері бойынша)
Дереккөздер: [3, 4, 15]			

$$DTI = 0.3 \cdot 0.79 + 0.3 \cdot 0.84 + 0.4 \cdot 0.56 = 0.237 + 0.252 + 0.224 = 0.713$$

Содан кейін индекс 0-ден 1-ге дейінгі шкалаға нормаланды, IMD рейтингісіндегі елдердің таралуы ескеріліп (Қазақстан – 63 елдің ішінде 35-орын, шамамен 44-перцентиль), сондай-ақ медиана мен Орталық Азия елдеріне калибровка жасалды:

$$DTI_{norm} = \frac{35_{max} - 35}{63 - 1} = \frac{28}{62} = 0.451 \text{ (төңкерілген тәртіпте)}$$

Соңғы мән екі әдісті де ескереді:

$$DTI_{final} = \frac{0.713 + 0.451}{2} \approx 0.65$$

Тұрақты даму индексі (SDI) есептеу әдістемесі SDSN-нің SDG Index (Sustainable Development Goals Index) негізінде, сондай-ақ экологиялық және әлеуметтік компоненттерді ескере отырып әзірленген, [18] және SDG Country Performance рейтингіне (SDSN, Columbia University) сүйенеді. Экологиялық блокқа мына көрсеткіштер кіреді: эмиссиялар, қайта жаңартылатын энергия көздерінің үлесі, жасыл білім, онда білімге 40% салмақ берілген, себебі ол адам капиталы аясында маңыздырақ компонент болып табылады (3-кесте).

Қорытынды SDI_{final}=0.58 индексі интеграциялық модельдердің салыстырмалылығын қамтамасыз ету үшін Орталық Азия елдері ауқымында калибрленді.

Бастапқы индекс мәні 0,608 болып табылады, ол SDG/ESG деректері негізінде есептелген. Ал 0,58 - нормаланған мән, ол агрегирленген формулаларда қолданылады және келесі факторларды ескереді: аймақтық деңгей (Орталық Азия елдері SDG бойынша ЭЫҰД елдерінен төмен орналасқан), аймақтық процентильге сәйкес шкаланың теңестірілуі, CDI және CCI индекстерінің салыстырмалылығын қамтамасыз етуге арналған аймақтар арасындағы калибровка.

3 - кесте. Тұрақты даму индикаторлары (SDI)

Көрсеткіш	**Мәні**	**Салмақ, %**	**Дереккөз / негіздеме**
Адам басына шаққандағы CO_2 шығарындылары	0.49	30	Халықаралық Энергетикалық Агенттік (IEA), 2023 (адам басына шығарындылар шамамен 11,5 тонна/адам, орташа деңгей)
Энергетикалық баланстағы ҚЖЭ үлесі	0.39	30	Қазақстан Республикасының Энергетика министрлігі, 2023 (Қазақстандағы ҚЖЭ үлесі шамамен 15%)
Экологиялық білімге қолжетімділік	0.86	40	ҚР Білім министрлігінің болжамды мәліметтері + UNESCO GCE дерекқоры (мектеп және жоғары оқу орындарының бағдарламаларындағы қамту деңгейі)
Дереккөздер: [18, 19, 20, 21]			

$$SDI = 0.3 \cdot 0.49 + 0.3 \cdot 0.39 + 0.4 \cdot 0.86 = 0.147 + 0.117 + 0.344 = 0.608$$

Осы көрсеткіштер CDI формуласында салмақтар бойынша агрегирленіп, Қазақстандағы адам капиталының тұрақты цифрлық дамуының кешенді индексін алуға мүмкіндік береді.

Қазақстан бойынша CDI адами капиталды дамытудың қорытынды индексі:

$$CDI = 0.4 \cdot 0.837 + 0.3 \cdot 0.65 + 0.3 \cdot 0.58 = 0.7038$$

Енді цифрлық экономикадағы адами капиталды бағалаудың интегралды индексін есептейміз - CCI (Comprehensive Capital Index). Бұл модель сандық және тұрақты құзыреттіліктерді қалыптастырудың негізі ретінде құрылымдық адами капиталды көрсететін HDI-ге көбірек көңіл бөледі. Қазақстан деректерінде модельді сынақтан өткіземіз:

$$CCI = 0.50 \cdot 837 + 0.3 \cdot 0.65 + 0.2 \cdot 0.58 = 0.7295$$

Біз есептеулердің жиынтық кестесін береміз (4 кесте).

4-кесте. Есептеулердің жиынтық кестесі

Көрсеткіш	Мәні
HDI	0.837
DTI	0.65
SDI	0.58
CDI (0.4/0.3/0.3)	0.7038
CCI (0.5/0.3/0.2)	0.7295
Ескерту: авторлар есептеген	

Осылайша, CDI индексі тұрақтылық пен цифрландыруды қамти отырып, теңдестірілген бейнені ұсынады, ал CCI индексі адам капиталының құрылымдық құрамдас бөліктеріне, әсіресе білім және табысқа басымдық береді. Мәндердің айырмашылығы модельдердің әртүрлі салмақтары мен логикасымен байланысты: CDI стратегиялық бағытты көздейді, ал CCI - инвестициялық потенциалды көрсетеді.

Бұл зерттеуде қолданылған DTI және SDI индекстері халықаралық әдістемелерге негізделгенімен, Қазақстанның ерекшеліктеріне бейімделген. Осындай композиттік тәсілдер стратегиялық жоспарлауда кеңінен қолданылады (мысалы, ЭЫҰД, БҰҰДБ, ЕО), алайда бұл тәсілдің ерекшелігі - цифрлық трансформация мен тұрақты дамуды адам капиталын бағалау контекстінде біріктіруінде (5-кесте). Зерттеудің жаңалығы DESI және IMD цифрлық индекстерін Қазақстан жағдайына бейімдеу, SDI моделіне ESG-компоненттерін (экологиялық тұрақтылық, «жасыл» білім) енгізу, сондай-ақ цифрлық ортадағы адам капиталын бағалау үшін интеграциялық индекстерді (CDI және CCI) құрастыру болып табылады. Бұл индекстер даму құрылымдық және трансформациялық индикаторларының тепе-теңдігін қамтамасыз етеді (CCI, CDI).

Талдау мен есептеулер нәтижесінде келесі мәселелер анықталды: ауыл тұрғындарының интернетпен қамтылуы жеткіліксіз; 45 жастан асқан халықтың цифрлық құзыреттілігі төмен және экологиялық көрсеткіштердің білім беру мен басқару үдерістеріне әлсіз ендірілуі байқалады.

5 - кесте. Адами капиталды бағалау әдістемесі жаңалығының элементтері

Элемент	**Сипаттамасы**	**Түсініктеме**
HDI қолдану	Жалпы қабылданған әдістеме	БҰҰДБ пайдаланады, кең таралған
DTI-ні DESI/IMD құрамдас бөліктерімен бейімдеу	Жартылай жаңа бейімдеу	Қазақстанға бейімделген индикаторлар мен салмақтардың комбинациясындағы жаңалық
SDI-ні экологияға бағытталған есептеу	Әдістемелік жаңалық	Адам капиталын дамыту моделінде ESG құрамындағы «E» компонентін күшейту ұсынылады
CDI/CCI-де агрегаттау	Ғылыми жаңалық	Индекстердің жаңа композициясы ұсынылып, салмақтардың негіздемесі және HDI-ден CDI/CCI-ге өту

Ескертпе: авторлар әзірлеген

Осы мәселелерді шешу үшін келесі ұсыныстарды беруімізге болады:

1. Университеттер мен колледждер базасында өңірлік цифрлық даярлау орталықтарын құру;

2. Ауыл мектептері мен зейнеткерлерге арналған цифрлық инклюзивті білім беру бағдарламаларын іске қосу;

3. Өңір кәсіпорындары үшін тұрақты дамудың KPI-ларын енгізу: жаңартылатын энергия көздерінің үлесін арттыру, шығарындыларды азайту және экологиялық инновациялар;

4. Қызметкерлердің құзыреттер картасын және цифрлық профилін өңірлік еңбек биржалары мен жұмыспен қамту қызметтеріне интеграциялау.

Осылайша, ұсынылған CDI моделі цифрлық және тұрақты трансформацияларды ескере отырып, адам капиталын кешенді бағалауға және болжауға мүмкіндік беретіні туралы гипотезамыз расталды. Қазақстанда бұл модельді қолдану аймақтық саясатты, кадрларды даярлауды және цифрлық өсу стратегияларын әзірлеуге ғылыми негізделген деректер береді. CCI моделі адам капиталындағы цифрлық және кәсіби трансформацияларға сезімталдығы жоғары екенін көрсетеді.

Қазақстан Республикасы үшін CDI және CCI индекстерін интеграциялап қолдану орынды әрі тиімді, CDI индексі макроэкономикалық деңгейде елдің цифрлық экономикаға қаншалықты дайын екенін бағалауға мүмкіндік береді, ал CCI индексі жекелеген ұйымдардың, салалардың және тіпті қызметкерлердің адам капиталының дамуына қосқан үлесін тереңірек талдауға жағдай жасайды.

6-кесте. Қазақстан Республикасының өңірлері бойынша CDI және CCI салыстырмалы талдауы

Өңір	CDI	CCI	HDI (ресми/бағалау)
Қазақстан Республикасы	0.7038	0.7295	0.837
Алматы облысы	0.5791	0.5887	0.780
Абай облысы	0.561	0.571	0.768
Ақтөбе облысы	0.602	0.621	0.779
Шығыс Қазақстан облысы	0.612	0.630	0.790
Жетісу облысы	0.553	0.566	0.762
Қарағанды облысы	0.625	0.642	0.800
Қостанай облысы	0.590	0.611	0.774
Түркістан облысы	0.570	0.582	0.765
Астана қаласы	0.749	0.762	0.842
Алматы қаласы	0.765	0.781	0.850
Ескертпе: авторлар есептелген			

Қазақстанның кейбір өңірлері бойынша CDI және CCI индекстерінің салыстырмалы талдауының нәтижелері (6-кесте) адам капиталы дамуы деңгейіндегі өңірлік айырмашылықтарды көрсетеді. Астана және Алматы қалалары екі индексте де ең жоғары мәндерге ие, бұл олардың цифрландыру деңгейінің, білім беру мобильділігінің және институционалдық инфрақұрылымы-

ның жоғарылығын көрсетеді. Сонымен қатар, оңтүстік және жаңадан құрылған өңірлер (Жетісу, Абай, Түркістан облыстары) CDI және әсіресе CCI көрсеткіштері бойынша артта қалып отыр. Бұл жағдай жұмыс күшінің цифрлық және кәсіби құзыреттіліктерін дамытуға бағытталған инвестициялардың қажеттілігін айқындайды.

Нәтижелердің ғылыми маңыздылығы мынада: CDI және CCI интегралды индекстерін пайдалану жалпы даму деңгейін (HDI) бағалаудан цифрлық трансформация мен тұрақтылықтың нақты сын-қатерлерін ескере отырып, адами капиталды функционалдық талдауға көшуге мүмкіндік береді. Бұл индекстер цифрлық дамудың өңірлік стратегияларын әзірлеуде, жұмыспен қамту және білім беру саласындағы мемлекеттік саясаттың басымдықтарын айқындауда, цифрландыру және ESG-трансформациялау жөніндегі ұлттық бағдарламалардың іске асырылуын мониторингілеуде, салалар мен өңірлер деңгейінде стратегиялық жоспарлауда қолданылуы мүмкін.

1. Қазақстанның нақты жағдайларына бейімделген ресми HDI мәнін (0,837), цифрлық және экологиялық көрсеткіштерді қамтитын CDI және CCI интегралды модельдері әзірленіп, апробациядан өткен.

2. CDI макродеңгейде цифрлық экономикаға дайындықты бағалауға мүмкіндік беріп, HDI, DTI және SDI индекстерін бір формулаға біріктіреді.

3. CCI адам капиталының функционалдық параметрлерін салалар, ұйымдар және өңірлер деңгейінде талдауға мүмкіндік береді.

4. Проблемалық аймақтар анықталды: ересек тұрғындар арасында цифрлық құзыреттердің төмен деңгейі, қала мен ауыл арасындағы цифрлық теңсіздік, білім беру мен еңбек нарығында тұрақты даму принциптерінің жеткіліксіз интеграциясы.

5. Сандық дағдыларды дамыту, экологиялық жауапкершілік пен кадрлардың бейімделуін арттыруға бағытталған аймақтық және ұлттық саясатқа арналған ұсыныстар жасалды.

Цифрлық экономика жағдайындағы адам капиталын талдауда денсаулық сақтау саласы ерекше назар аударуды қажет етеді, себебі ол өмір сүру сапасы мен еңбек өнімділігінің стратегиялық маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Денсаулық сақтауды цифрландыру адам дамуы индексінің (HDI) құрамдас бөліктеріне, атап айтқанда, күтілетін өмір сүру ұзақтығына және медициналық қызметтердің қолжетімділігіне тікелей әсер етеді. Осы мақалада әзірленген CDI және CCI интегралды адам капиталы индекстерін цифрлық технологиялардың денсаулық сақтау саласындағы әсерін бағалау құралы ретінде қолдануға болады. Мысалы, телемедицина, электронды медициналық карталар және денсаулықты алдын алу платформаларын дамыту денсаулық сақтау жүйесіндегі шығындарды азайтып қана қоймай, жалпы еңбек өнімділігі мен әлеуметтік тұрақтылықты арттыруға ықпал етеді. Бұл сандық денсаулық сақтауды адам капиталын дамытудың негізгі драйверлерінің біріне айналдырады.

Қорытынды. Ресми HDI мәнін қолдану есептеулердің дұрыстығын және халықаралық салыстырмалылығын қамтамасыз етеді, ал DTI және SDI индекстері Қазақстан Республикасының цифрлық және экологиялық саясат ерекшеліктерін ескере отырып әзірленген. Ұсынылған интегралды модельдер цифрлық дәуірдегі адам капиталын мониторингтеуде және білім беру, цифрлық сауаттылық пен тұрақты дамудың стратегиялық шешімдерін қалыптастыруда қолданылуы мүмкін.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы классикалық HDI-ден цифрлық шындықты көрсететін заманауи және икемді модельдерге көшуді негіздеуден тұрады. Нәтижелердің практикалық маңыздылығы модельдерді ұлттық білім беру, жұмыспен қамту және цифрлық трансформация саясатында қолдану мүмкіндігінде. Болашақта CCI моделін soft skills және танымдық қабілеттерді бағалау блогымен толықтыруға болады.

Қаржыландыру. *Бұл мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетімен қаржыландырылды (грант AP23490443)*

Әдебиеттер

1. Baigelova A. Digitalization in the development of human capital as a condition for competitiveness and economic growth of the Republic of Kazakhstan. Reports.- 2020.-Vol.2(330)-P.107-113. DOI 10.32014/2020.2518-1483.38.

2. Digital Kazakhstan: Pioneering E-Government and AI Innovations Amid New Challenges.31 December 2024. URL: https://timesca.com.- Date of address: 05.11.2025.

3. European Commission. Digital Economy and Society Index (DESI) 2022. URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu.- Date of address: 05.11.2025.

4. IMD World Digital Competitiveness Ranking 2024.The digital divide: risks and opportunities. URL: https://imd.widen.net. Date of address: 05.11.2025.

5. Кибаева А.Б., Тусупова Л.А., Гизе Р. Анализ метода оценки человеческого капитала в цифровой экономике Казахстана // Вестник университета «Туран». - 2022. - №2(94). - С.261-267. DOI 10.46914/1562-2959-2022-1-2-261-267

6. Khachaturyan A.A. Human capital in the digital economy // Resources and Environmental Economics. - 2022. - Vol. 4(1). - P. 314-324. DOI 10.25082/REE.2022.01.002

7. Ershova I.G., Karakulin A.Yu., Yakimova E.Yu., Guselnikova L.N. Management of formation of human capital in digital economy of the region // Proceedings of the Russian Conference on Digital Economy and Knowledge Management (RuDEcK 2020). - Published by Atlantis Press, 2020. DOI 10.2991/aebmr.k.200730.031

8. Amanbek E., Balgayev I., Batyrkhanov K., Tan M. Adoption of e-government in the Republic of Kazakhstan// Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity.-2020-Vol.6(3):46. DOI 10.3390/joitmc6030046

9. Sembekov A., Tazhbayev N., Ulakov N., Tatiyeva G., Budeshov Ye. Digital modernization of Kazakhstan’s economy in the context of global trends // Economic Annals-XXI. - 2021. - Vol. 187(1-2). – P.. 51–62. URL: https://doi.org/10.21003/ea.V187-05

10. World Bank. Resilient Digital Kazakhstan Program (P176295), 2021. URL: https://projects.worldbank.org .- Date of address: 05.11.2025.

11. ETF. Policies for human capital development in Kazakhstan. Torino Process Report Kazakhstan. - 2020. URL: https://www.etf.europa.eu. - Date of address: 12.12.2024.

12. Flores E., Xu X., Lu Y. Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0 // Journal of Manufacturing Technology Management. - 2020.-Vol.31(4)-P.687-703. DOI 10.1108/JMTM-08-2019-0309

13. Putri R.M.S. Human Capital Strategies in the Face of Digitalization: A Review of the Literature to Improve Organizational Competitiveness. Eduvest // Journal of Universal Studies. - 2025. - № 5(5). - P.5267–5282. DOI 10.59188/eduvest.v5i5.50008

14. Kazakhstan Confirms Strong Position in Global Digital Competitiveness.24 April 2025. URL: https://astanatimes.com.- Date of address: 25.04.2025.

15. Қазақстан Республикасы Стратегиялық жоспарлау және реформалар агенттігі Ұлттық статистика бюросы. URL: https://stat.gov.kz - Дата обрашения: 16.04.2025.

16. UNDP. Human Development Report 2025. A matter of choice: People and possibilities in the age of AI. – 2025. URL: https://hdr.undp.org .- Date of address: 06.05.2025.

17. UNDP. Human Development Reports. URL: https://hdr.undp.org.- Date of address: 17.08.2025.

18. Sachs J.D., Lafortune G., Fuller G., Drumm E. Implementing the SDG Stimulus. Sustainable Development Report 2023. - Paris: SDSN, Dublin: Dublin University Press, 2023. URL: https://files.unsdsn.org. - Date of address: 12.12.2024.

19. International Energy Agency. CO2 Emissions in 2023 A new record high, but is there light at the end of the tunnel? URL: https://iea.blob.core.windows.net. - Date of address: 12.12.2024.

20. UNESCO. Kazakhstan URL: Evidence on Inclusive Education in Kazakhstan based on a Formative and a Big Data Evaluation. Astana, 2024. URL: https://gcedclearinghouse.org/node/144865?language=en. - 12.12.2024.

21. Национальный энергетический доклад Kazenergy 2023. URL: https://www.kazenergy.com. –Дата обращения: 09.12.2024.

References

1. Baigelova A. Digitalization in the development of human capital as a condition for competitiveness and economic growth of the Republic of Kazakhstan. Reports.- 2020.-Vol.2(330)-P.107-113. DOI 10.32014/2020.2518-1483.38.

2. Digital Kazakhstan: Pioneering E-Government and AI Innovations Amid New Challenges.31 December 2024. URL: https://timesca.com.- Date of address: 05.11.2025.

3. European Commission. Digital Economy and Society Index (DESI) 2022. URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu.- Date of address: 05.11.2025.4.IMD World Digital Competitiveness Ranking 2024.The digital divide: risks and opportunities. URL: https://imd.widen.net. Date of address: 05.11.2025.

5. Kibaeva A.B., Tusupova L.A., Gize R. Analiz metoda ocenki chelovecheskogo kapitala v cifrovoj jekonomike Kazahstana // Vestnik universiteta «Turan». - 2022. - №2(94). - S.261-267. DOI 10.46914/1562-2959-2022-1-2-261-267. [in Russian]

6. Khachaturyan A.A. Human capital in the digital economy // Resources and Environmental Economics. - 2022. - Vol. 4(1). - P. 314-324. DOI 10.25082/REE.2022.01.002

7. Ershova I.G., Karakulin A.Yu., Yakimova E.Yu., Guselnikova L.N. Management of formation of human capital in digital economy of the region // Proceedings of the Russian Conference on Digital Economy and Knowledge Management (RuDEcK 2020). - Published by Atlantis Press, 2020. DOI 10.2991/aebmr.k.200730.031

8. Amanbek E., Balgayev I., Batyrkhanov K., Tan M. Adoption of e-government in the Republic of Kazakhstan// Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity.-2020-Vol.6(3):46. DOI 10.3390/joitmc6030046

9. Sembekov A., Tazhbayev N., Ulakov N., Tatiyeva G., Budeshov Ye. Digital modernization of Kazakhstan’s economy in the context of global trends // Economic Annals-XXI. - 2021. - Vol. 187(1-2). – P.. 51–62. URL: https://doi.org/10.21003/ea.V187-05

10. World Bank. Resilient Digital Kazakhstan Program (P176295), 2021. URL: https://projects.worldbank.org.- Date of address: 05.11.2025.

11. ETF. Policies for human capital development in Kazakhstan. Torino Process Report Kazakhstan. - 2020. URL: https://www.etf.europa.eu. - Date of address: 12.12.2024.

12. Flores E., Xu X., Lu Y. Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0 // Journal of Manufacturing Technology Management. - 2020.-Vol.31(4)-P.687-703. DOI 10.1108/JMTM-08-2019-0309

13. Putri R.M.S. Human Capital Strategies in the Face of Digitalization: A Review of the Literature to Improve Organizational Competitiveness. Eduvest // Journal of Universal Studies. - 2025. - № 5(5). - P.5267–5282. DOI 10.59188/eduvest.v5i5.50008

14. Kazakhstan Confirms Strong Position in Global Digital Competitiveness.24 April 2025. URL: https://astanatimes.com.- Date of address: 25.04.2025.

15. Қазақстан Respublikasy Strategijalyқ zhosparlau zhəne reformalar agenttigi Ұlttyқ statistika bjurosy. URL: https://stat.gov.kz/.- Data obrashhenija 16.04.2025.[in Kazakh]

16. UNDP. Human Development Report 2025. A matter of choice: People and possibilities in the age of AI. – 2025. URL: https://hdr.undp.org .- Date of address: 06.05.2025.

17. UNDP. Human Development Reports. URL: https://hdr.undp.org/data-center/specific-country-data#/countries/KAZ.- Date of address: 17.08.2025.

18. Sachs J.D., Lafortune G., Fuller G., Drumm E. Implementing the SDG Stimulus. Sustainable Development Report 2023. - Paris: SDSN, Dublin: Dublin University Press, 2023. URL: https://files.unsdsn.org. - Date of address: 12.12.2024.

19. International Energy Agency. CO2 Emissions in 2023 A new record high, but is there light at the end of the tunnel? URL: https://iea.blob.core.windows.net. - Date of address: 12.12.2024.

20. UNESCO. Kazakhstan URL: Evidence on Inclusive Education in Kazakhstan based on a Formative and a Big Data Evaluation. Astana, 2024. URL: https://gcedclearinghouse.org. - 12.12.2024.

21. Nacional’ nyj jenergeticheskij doklad Kazenergy 2023. URL: https://www.kazenergy.com .- Data obrashhenija: 09.12.2024.[in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Рахметулина Ж. Б. - экономика ғылымдарының кандидаты, экономика және кәсіпкерлік кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, t-mail: rahmetulina_zh@mail.ru;

Бухатова А. С. - PhD докторанты, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ, Қазақстан, e-mail: asem.bukhatova@mail.ru;

Дюсупова Г. Т.- PhD докторанты, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен, Қазақстан, e-mail: gul1511@mail.ru;

Рахметулина А.А.- «Sana Holding Ltd» компаниясының операциялық департаментінің директоры, Астана, Қазақстан, e-mail: rakhmetulina@gmail.com.

Information about the authors

Rakhmetulina Zh.B. - Candidate of Economic Sciences, Professor of the Department of Economics and Entrepreneurship, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, t-mail: rahmetulina_zh@mail.ru;

Bukhatova A. S. - doctoral student Phd, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Oskemen, Kazakhstan, e-mail: asem.bukhatova@mail.ru;

Dyussupova G.T. - doctoral student Phd, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Oskemen, Kazakhstan, e-mail: gul1511@mail.ru;

Rakhmetulina A. A. - Director of Operations Department of Sana Holding Ltd, Astana, Kazakhstan, e-mail: rakhmetulina@gmail.com.

МРНТИ 06.39.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1059**

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК БАСҚАРУЫНДАҒЫ ГЕНДЕРЛІК ТЕҢДІКТІҢ ҚАЗІРГІ ЖАҒДАЙЫН ТАЛДАУ

[1]А. Азимхан✉, [2]Г.Н. Доғалова, [1]Н.М. Шеримова, [1]Г.К. Кенжетаева, [3]Р.А. Есберген

[1]Торайғыров университет, Павлодар, Қазақстан,
[2]Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[3]ҚР Президентінің жанындағы Мемлекеттік басқару Академиясының Ақтөбе облысы бойынша филиалы, Ақтөбе,Қазақстан,
✉*Корреспондент-автор: armoni04@mail.ru*

Қазіргі заманның мәселелерінің қатарында гендерлік теңдік пен қалыптасқан мәдени кемсітушілік стереотиптерді жеңу ең өзекті болып табылады. Гендерлік мәселелерден хабардар болу және ерлер мен әйелдердің тең қарым-қатынасына кедергі келтіретін түрлі тосқауылдарды жою азаматтық қоғамның мақсаттарына және заң үстемдігі қағидасына сәйкес келеді.

Гендерлік теңдік мәселесі өте қызықты және маңызды, бірақ оны шешу қиын. Бұл Қазақстандағы соңғы онжылдықтағы гуманитарлық ғылымдардағы жаңа зерттеу парадигмасы. Бұл парадигма қоғамның даму шарттарын анықтайды және даму барысы гендерлік теңдік идеясын жүзеге асырумен, қазіргі өркениет тарихына әйелдер әлеуетін қосумен байланысты.

Мақалада Қазақстандағы гендерлік теңдіктің қазіргі жағдайы қарастырылады, әсіресе әйелдердің мемлекеттік органдар мен саяси өмірге қатысуы талданады. Халықаралық конвенцияларды ратификациялау және 2009 жылы қабылданған «Ерлер мен әйелдердің тең құқықтары мен мүмкіндіктерінің мемлекеттік кепілдіктері туралы» заң сияқты негізгі заңнамалық бастамаларға ерекше назар аударылады. Басқарудың әртүрлі деңгейлеріндегі, соның ішінде мемлекеттік қызмет, парламент және жергілікті өзін-өзі басқару салаларындағы әйелдердің өкілдігіне қатысты статистикалық деректер келтірілген.

Қол жеткізілген прогреске қарамастан, авторлар әйелдердің әлі де гендерлік стереотиптер, саясаттағы «сыни массаның» жеткіліксіздігі және мансаптық өсу мүмкіндіктерінің шектеулігі сияқты кедергілерге тап болатынын атап өтеді. Мақалада бұл мәселелерді шешу үшін жүйелі көзқарастың қажеттілігі, соның ішінде квоталарды енгізу, гендерлік деректерді мониторингтеу және басқару құрылымдарында әйелдерді қолдау қажеттілігі баса айтылады. Шынайы гендерлік теңдікке қол жеткізу үшін әрі қарай реформалар жүргізу және қоғамдық санада өзгеріс жасау қажет деген қорытынды жасалады.

Түйін сөздер: гендер, саясат, гендерлік теңдік, басқару, лауазым, мемлекеттік қызмет

АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ГЕНДЕРНОГО РАВЕНСТВА В ГОСУДАРСТВЕННОМ УПРАВЛЕНИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

[1]А. Азимхан✉, [2]Г.Н. Доғалова, [1]Н.М. Шеримова, [1]Г.К. Кенжетаева, [3]Р.А. Есберген

[1]Торайгыров Университет, Павлодар Казахстан,
[2]Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана Казахстан,
[3]Филиал Академии государственного управления при Президенте РК по Актюбинской области, Актобе, Казахстан, e-mail: armoni04@mail.ru

Гендерное равенство и преодоление культурных стереотипов являются одними из наиболее актуальных проблем современного общества. Обращение внимания на гендерные вопросы и устранение барьеров, мешающих равноправным отношениям между мужчинами и женщинами, соответствует основным целям гражданского общества и принципу верховенства закона.

Эта проблема важна не только с точки зрения социальной справедливости и прав человека, но и для устойчивого развития общества и экономического роста. В последние десятилетия в Казах-

стане сформировалась новая исследовательская парадигма в гуманитарных науках, рассматривающая гендерное равенство как фактор социального развития. Направление и стабильность общественного развития напрямую зависят от уровня реализации идеи гендерного равенства.

В статье рассматривается текущее состояние гендерного равенства в Казахстане, с акцентом на участие женщин в государственных органах и политической жизни. Анализируются ключевые законодательные инициативы, такие как ратификация международных конвенций и принятие закона «О государственных гарантиях равных прав и возможностей женщин и мужчин» (2009 г.). Приводятся статистические данные о представительстве женщин на различных уровнях управления, включая государственные службы, парламент и местное самоуправление.

Несмотря на достигнутый прогресс, авторы отмечают, что женщины по-прежнему сталкиваются с барьерами, включая гендерные стереотипы, недостаток «критической массы» в политике и ограниченные возможности карьерного роста. Статья подчеркивает необходимость системного подхода к решению этих проблем, включая квоты, мониторинг гендерных данных и поддержку женщин в управленческих структурах. Делается вывод о том, что достижение реального гендерного равенства требует дальнейших реформ и изменения общественного сознания.

Ключевые слова: гендер, политика, гендерное равенство, управление, должность, государственная служба.

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF GENDER EQUALITY IN PUBLIC ADMINISTRATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

[1]A.Azimkhan✉, [2]G.Dugalova, [1]N. Sherimova, [1]G.Kenzhetayeva, [3]R.Yesbergen

[1]Toraighyrov University, Pavlodar Kazakhstan,
[2]K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
[3]Branch of the Academy of Public Administration under the President of the Republic of Kazakhstan in Aktobe region, Aktobe Kazakhstan,
e-mail: armoni04@mail.ru

Gender equality and overcoming cultural stereotypes are among the most pressing issues of modern society. Addressing gender issues and eliminating barriers that hinder equal relationships between men and women align with the core goals of civil society and the principle of the rule of law.

This issue is important not only from the perspective of social justice and human rights but also for sustainable societal development and economic growth. In recent decades, a new research paradigm has emerged in the humanities in Kazakhstan, viewing gender equality as a factor of social development. The direction and stability of societal progress are directly dependent on the level of implementation of the idea of gender equality.

The article examines the current state of gender equality in Kazakhstan, focusing on women's participation in government bodies and political life. It highlights key legislative initiatives, such as the ratification of international conventions and the adoption of the 2009 law "On State Guarantees of Equal Rights and Opportunities for Men and Women." Statistical data on women' s representation at various levels of governance, including public service, parliament, and local self-government, are provided.

Despite the progress made, the authors note that women still face barriers such as gender stereotypes, the lack of a "critical mass" in politics, and limited career growth opportunities. The article emphasizes the need for a systematic approach to addressing these issues, including the introduction of quotas, gender data monitoring, and support for women in leadership structures. It concludes that achieving true gender equality requires further reforms and changes in public consciousness.

Keywords: gender, politics, gender equality, management, position, public service.

Кіріспе. Елімізде әйелдердің тең құқықтары мен мүмкіндіктерін қамтамасыз етуде біршама жетістіктерге қол жеткізілді. Мысалы, Қазақстан «Әйелдерге қатысты кемсітушіліктің барлық нысандарын жою туралы» ірі халықаралық конвенциялардың бірін ратификацияласа, 2009 жылы үкімет «Әйелдер мен ерлердің тең құқықтары мен мүмкіндіктерінің мемлекеттік кепілдіктері туралы» заңды қабылдады. Бұл тең құқылы қоғам құру жолындағы маңызды қадамдар болды, бірақ гендерлік мәселелер үкімет тарапынан елеусіз қалды. Мысалы, 2030 жылға дейінгі отбасы және гендерлік саясат тұжырымдамасы контекстінде гендерлік мәселелерді шешу үкіметтің гендерлік теңдіктің жеке стратегиясын жасауға әлі де қарсы екенін және бұл саланы отбасы мәселелерімен шатастырып отырғанын көрсетеді [1].

Материалдар мен әдістер. Зерттеудің теориялық және әдіснамалық негізі гендерлік теңдік тұжырымдамасы және гендерлік саясатты зерттеудің әртүрлі аспектілері бойынша батыс, ресей және қазақстандық ғалымдардың зерттеулері болып табылады. Зерттеу барысында Қазақстандағы гендерлік теңдік мәселесіне қатысты заңнамалық және нормативтік құжаттар, халықаралық ұйымдардың баяндамалары, ресми статистикалық деректер, сондай-ақ ғылыми еңбектер мен сараптамалық материалдар пайдаланылды. Мақаланы талдауда жүйелік, құрылымдық-функционалдық, әлеуметтік, салыстырмалы және статистикалық талдау әдістері, сонымен қатар жалпы ғылыми әдістер қолданылды.

Нәтижелер және талқылау. Мемлекеттің ерлер мен әйелдердің тең мүмкіндіктерін қамтамасыз етудегі жүйелі көзқарасы туралы айтатын болсақ, әйелдердің билік органдарына қатысу дәрежесіне және сәйкесінше олардың мемлекеттік саясатқа әсер ету қабілетіне назар аудару керек.

Әйелдердің әлеуметтік өмірге және шешім қабылдау процестеріне қосылуы туралы ресми статистикалық мәліметтерге қарасақ, Қазақстанның халықаралық қауымдастықты қанағаттандыратын кешенді шараларды қабылдауда, сондай-ақ әйелдерге өмір сүруге мүмкіндік беруде айтарлықтай ілгерілеушілік болмағаны анық [2].

Біздің елімізде 2009 жылы «Әйелдер мен ерлердің тең құқықтары мен тең мүмкіндіктерінің мемлекеттік кепілдіктері» заңы қабылданды. Содан бері қаншама құжаттар бекітіліп, көптеген органдар құрылды. Ал соңғы жылдары бұл саясат қарқын алды.

2022 жылы Қазақстан 146 елдің ішінде 65-орынды иеленді. Білім беру мен экономикалық мүмкіндіктерде алға жылжығанымен, саяси қатысу көрсеткіші бойынша 103-орында қалды.

Испания мен Финляндия сияқты елдерде әйелдердің үкіметтегі үлесі 60%-дан асады. Жалпы ОЭСР елдері бойынша орташа көрсеткіш - 57,4%. Көптеген елдер мемлекеттік қаражатты бөлу кезінде ерлер мен әйелдердің қажеттіліктерін ескеретін гендерлік бюджетті жоспарлауды енгізген. Кейбір елдерде парламент пен басшылық лауазымдарда әйелдердің кем дегенде белгілі бір пайызын қамтамасыз ету үшін міндетті квоталар енгізілген.

Қазақстанда әйелдердің мемлекеттік қызметтегі жалпы үлесі жоғары болғанымен, саяси және басшылық лауазымдарда олардың саны ОЭСР елдерімен салыстырғанда әлі де төмен.

ОЭСР елдерінде гендерлік бюджеттеу мен квоталар сияқты нақты тетіктер кеңінен қолданылады. Қазақстанда әйелдердің саясатқа қатысуына кедергі келтіретін дәстүрлі көзқарастар мен стереотиптер әлі де бар.

Қазақстан Республикасының мемлекеттік органдары екі деңгейге – орталық және жергілікті атқарушы органдарға бөлінеді. Мемлекеттік қызметшілердің басым бөлігі орталық органдарда (64,6%), ал шамамен үштен бірі жергілікті мемлекеттік органдарда (35,4%) жұмыс істейді.

2022 жылы елдегі мемлекеттік қызметшілер арасындағы әйелдердің үлесі 55,4 %-ын құрады, оның ішінде: саяси қызметшілер арасында – 8,3%, «А» әкімшілік қызметкерлері арасында - 12% құрады.

Басшылық қызметтегі әйелдердің үлесі 39,3% (23790-ның 9346-сы). Лауазымдардағы әйелдердің өкілдігі:

- министрдің орынбасарлары - 11,1% (90-нан 10);

- аймақтық вице-президенттер - 6% (84-тен 5);

- орталық атқарушы органдардың персоналды басқарушылары, Ұлттық құқық қорғау орталығының басшысы - 15,8% (19-дан 3);

- орталық мемлекеттік органдар комитеттері төрағасының орынбасарлары мен басқарма басшылары - 35,2 % (398-ден 140);

- орталық мемлекеттік органдардың өңірлік бөлімшелерінің басшылары - 15,5% (511-ден 79);

- аймақтық менеджерлер - 16,4% (402-ден 66),

- қала және аудан әкімдерінің орынбасарлары - 12,8% (600-ден 77) құрады.

Мемлекеттік қызметшілердің жалпы саны және әйелдердің үлесі 1-кестеде көрсетілген.

1 - кесте. Мемлекеттік қызметшілердің жалпы саны және әйелдердің үлесі

Жыл	Мемлекеттік қызметшілердің жалпы саны	Әйелдердің үлесі (%)	Әйелдердің саны
2022	шамамен 84 000	55,4%	шамамен 46 000
2023	83 009	55,6%	46 116
2024	83 000	55,5%	шамамен 46 065

1-кестеге сәйес Қазақстанда 2022 жылы мемлекеттік қызметте жұмыс істейтін әйел мемлекеттік қызметшілердің жалпы санының шамамен 55 пайызын немесе 46000 -ын, яғни жартысынан астамын құрайды [3].

Саяси қызметкерлер арасында әйелдердің үлесі төмен - 9,3%, әкімшілік қызметшілер арасында А корпусында - 4,1%, В корпусында - 55,3%. Бұл Италия, Бельгия және Испания сияқты ЭЫДҰ елдеріндегі бірдей көрсеткіштен асып түседі.

Басшылар арасында әйелдердің үлесі 39,2 % құрайды. Бұл 9,3 мыңнан астам әйел көшбасшы деген сөз [4].

Басшылық қызметтегі әйелдердің үлесі 2-кестеде көрсетілген.

2 - кесте. Басшылық лауазымдағы әйелдер

Жыл	Басшылық лауазымдағы әйелдердің үлесі (%)	Әйел-басшылардың саны
2022	39,2%	шамамен 9 360
2023	39,3%	9 369
2024	39,2%	шамамен 9 360

2-кестеге сәйес саяси қызметкерлер арасында әйелдердің үлесі 2023 жылы 39,3 пайыз болғанымен 2024 жылы ол қайта 39,2 пайызды құрады.

Қазақстан Парламентінің төменгі палатасындағы әйелдер өкілдігі 2000 жылдардың басынан бері айтарлықтай өскенімен, ол әлі де 27,4% деңгейінде қалып отыр [5].

«Критикалық масса» деген ұғымның бар екендігін айта кеткен жөн, зерттеушілер мемлекеттік институттардағы әйелдердің мүдделері мен гендерлік күн тәртібін ілгерілетуде соншалықты белсенді еместігінің бір себебі «сыни массаның» болмауында деп санайды. Бұл әйелдерге коалиция құру және шешім қабылдауда көбірек салмақ алу арқылы тиімдірек жұмыс істеуге мүм-

кіндік береді, ол бұл шекті 30% өту ер депутаттар арасында әйел дауысының жоғалмауын қамтамасыз етеді деп санайды.

Қазақстанда парламенттің төменгі палатасындағы әйелдер өкілдігінің үлесі соңғы 25 жылда өсті және әрқашан әлемдік орташа көрсеткішпен бірдей деңгейде болмайды, 2021 жылы одан асып түсті және содан бері төмендеген жоқ. Дегенмен, бұл әлі де ерлердің санына қарағанда азырақ көңіл көншітеді.

Мәселен, «Парламентаралық Одақ» және «Біріккен Ұлттар Ұйымы» мәліметтері бойынша әйелдер Қазақстан 2023 жылы бір палаталы парламенттердегі немесе парламенттің төменгі палатасындағы әйелдердің үлесі бойынша әлемдік рейтингте небәрі 69-шы орында тұр. Әйелдер мен ерлер үшін феминизмді жеңген ең маңызды ел Швецияда әйелдердің 47%-ы бар болғаны жетінші орынға ие болды [6].

Айта кету керек, Мемлекет басшысының тапсырмасымен мемлекет қатысатын компаниялардың басқару органдарындағы әйелдердің үлесін кезең-кезеңімен 30 пайызға жеткізу жұмыстары жүргізілуде.

Қазақстан Үкіметі әйелдердің басқару құрылымдарына қатысуын арттыру үшін келесі шараларды қабылдауда:

- өкілді органдарда әйелдерге арналған квота енгізілді;

- 2030 жылға дейін мемлекеттік қатысатын компаниялардағы әйелдердің үлесін 30%-ға жеткізу мақсаты қойылды;

- әйелдердің көшбасшылығын дамыту бағдарламалары: басшылық лауазымдарға тағайындау үшін арнайы кадрлық резервке әйелдерді тарту қолға алынған;

- ”KazFemLeader” бастамасы: әйелдердің мемлекеттік басқару жүйесіне белсенді қатысуын ынталандыруға бағытталған;

- ”She Leads” бағдарламасы: қоғамдық және мемлекеттік секторда әйел көшбасшыларын даярлауға арналған тренингтер мен менторлық қолдау;

- саяси ерік-жігерді күшейту: әйелдердің саясатқа қатысуын кеңейту үшін заңнамалық шаралар мен арнайы бағдарламаларды жүзеге асыру қажет;

- гендерлік бюджеттеуді енгізу: бюджетті жоспарлау кезінде гендерлік аспектілерді ескеру ресурстарды тиімді бөлуді қамтамасыз етеді;

- мемлекеттік қызметшілерге гендерлік теңдік туралы тренингтер өткізу ұйымішілік мәдениетті өзгертеді;

- мониторинг және бағалау жүйесі: гендерлік саясаттағы жетістіктер мен қиындықтарды үнемі бақылап отыру арқылы нақты нәтижелерге қол жеткізуге болады.

Жалпы, саясат пен басқару салаларында әйелдердің барабар өкілдігіне кедергі келтіретін мәселелердің ішінде мыналарды атап өткен жөн 1-сурет.

1-суретте мемлекеттік басқарудағы гендерлік теңдіктің негізгі мәселелері көрсетілген, олар:

- қоғамда әйелдердің саясатта ілгерілеуіне кедергі болатын стереотиптердің болуы;

- квазимемлекеттік сектордағы әйелдер қызметіндегі өкілдіктің теңгерімсіздігі;

- әйелді отбасына, бала тәрбиесіне және саясатқа араласуға жетелейтін әлеуметтік-мәдени стереотиптер;

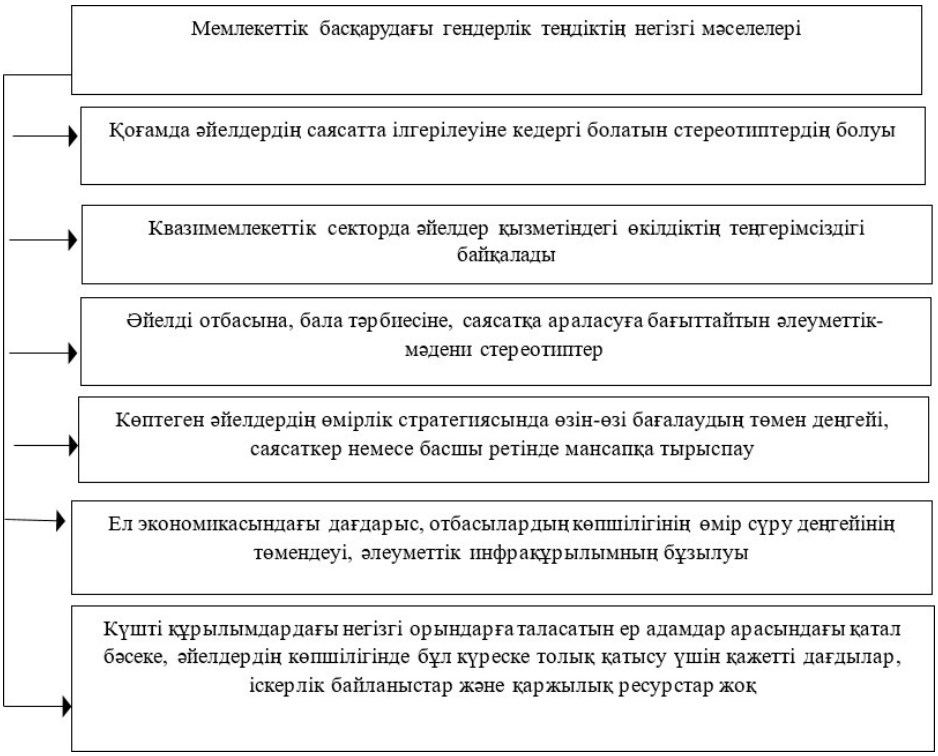
- әйелдердің көпшілігінің өмірлік стратегиясында өзіне деген сенімділіктің төмен деңгейі, саясаткер немесе көшбасшы ретіндегі мансапқа деген талаптардың болмауы;

- ел экономикасындағы дағдарыстық жағдай, отбасылардың көпшілігінің өмір сүру деңгейінің төмендеуі, әлеуметтік инфрақұрылымның бұзылуы;

- күш құрылымдарындағы маңызды лауазымдар үшін ерлердің күресіндегі қатаң бәсекелестік, ал әйелдердің көпшілігінің бұл күреске толық қатысу үшін қажетті дағдылары, іскерлік байланыстары және қаржылық ресурстары жоқ [7].

Әлеуметтік-экономикалық өзгерістер кезеңінде әйелдердің басқару саласына көтерілу тенденциясы пайда болды. Мысалы, Гендерлік теңдік стратегиясы шешім қабылдау деңгейін-

де әйелдердің 30 пайыздық өкілдігін қамтамасыз етуге бағытталған. Сайланбалы лауазымдардың барлық түрлеріне, оның ішінде саяси партиялардағы, еңбек қатынастары саласындағы және басқа да салалардағы лауазымдарға кандидаттардың тізімдерін қалыптастыру кезінде саяси институттардағы жыныстардың бірінің өкілдерінің кемінде 30 пайызын құрайтын квота іске асырылған.



1 - сурет. Мемлекеттік басқарудағы гендерлік теңдіктің негізгі мәселелері

Біздің ойымызша, Қазақстанның әлеуметтік саласында бірнеше «орталар» бар, олардың әрқайсысында әйелдердің саяси қатысуының өзіндік стратегиясы бар.

2 - суретке сәйкес мемлекеттік басқаруда гендерлік теңдікті қамтамасыз ету үшін келесі шараларды ұсынуға болады [8]:

- стратегиялық жоспарлар мен мемлекеттік даму бағдарламаларында мемлекеттік органдар мен комитеттерде әйелдер мен ерлердің тең өкілдігіне қол жеткізу мақсатын нақты белгілеу, оның ішінде нақты мақсатты көрсеткіштерді белгілеу және қажет болған жағдайда әйелдер санын квоталар арқылы айтарлықтай арттыру бойынша шаралар қабылдау;

- барлық деңгейдегі басшы лауазымдардағы әйелдер мен ерлер туралы сандық және сапалы мәліметтерді ұдайы жинау, талдау және тарату және осы деректерді жыл сайын тарату негізінде әйелдер өкілдігінің ілгерілеуін бақылау және бағалау;

- ұлттық гендерлік теңдік жөніндегі іс-шаралар жоспарын іске асыру бойынша жалпыға ортақ және тұрақты есеп беру процесін ұйымдастыру, бірыңғай есептілік стандарттарын әзірлеу және гендерлік статистиканы жетілдіру;

- мекемелердегі әйелдердің санын көбейту және олардың беделін арттыру мақсатында мемлекет тарапынан қаржыландырылатын ұйымдарды кемсітпейтін саясат пен тәжірибе үшін ынталандыру жүйесін құру;

- әйелдер арасында басшылардың және басқарушылардың «сыни массасын» құру бойынша шаралар қабылдау, кадр резервін құру; әйелдер-

дің басқарушы персонал үшін оқыту және қайта даярлау ресурстарына, оның ішінде жұмыс орнын сақтауды оқытуға тең қолжетімділігін қамтамасыз ету;

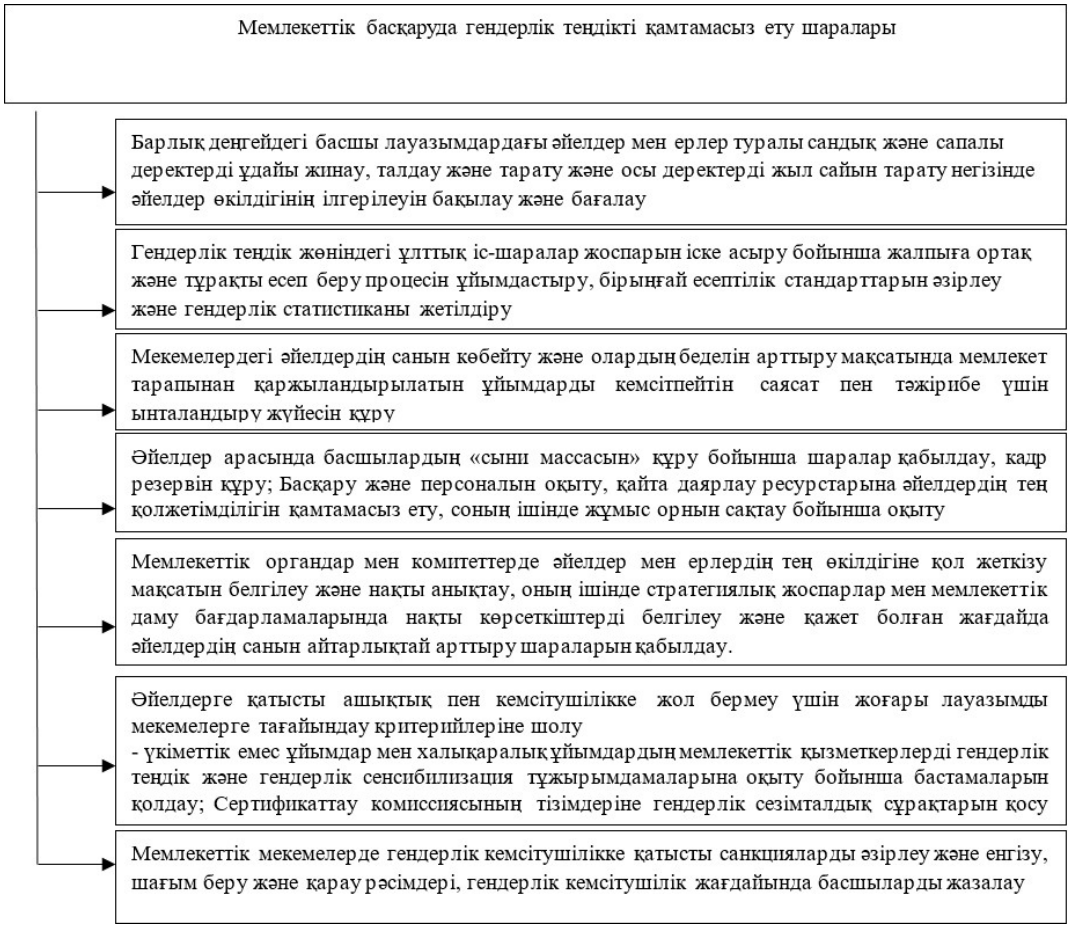
- әйелдерге қатысты ашықтық пен кемсітушілікке жол бермеу үшін жоғары лауазымды мекемелерге тағайындау критерийлеріне шолу;

- үкіметтік емес ұйымдар мен халықаралық ұйымдардың мемлекеттік қызметкерлерді гендерлік теңдік және гендерлік сенсибилизация тұжырымдамаларына оқыту бойынша бастамаларын қолдау; мемлекеттік қызметшілерге арналған аттестаттау комиссиясының тізімдеріне гендерлік сезімталдық мәселелерін енгізу;

- мемлекеттік мекемелердегі гендерлік кемсітушілікке қатысты санкцияларды, шағымдарды қарау және қарау рәсімдерін әзірлеу және енгізу, гендерлік кемсітушілік жағдайында басшыларды жазалау;

- аймақтық халықаралық форумдарға қатысу үшін ұлттық үкімет делегацияларының құрамында гендерлік тепе-теңдікті сақтау;

- сайлау кезінде әйелдерді қолдау мақсатында республикалық және жергілікті ақпараттық науқандарды өткізу [9].



2 - сурет. Мемлекеттік басқаруда гендерлік теңдікті қамтамасыз ету шаралары

Қорытынды. Болашақта гендерлік теңдікті дамыту мүмкіндіктері орасан зор және перспективалы болып табылады. Проблемалар мен сынқатерлер әлі де бар екеніне қарамастан, біз осы салада айтарлықтай жетістіктерді көріп отырмыз. Ерлер мен әйелдер үшін тең мүмкіндіктерді қамтамасыз ету жөніндегі саясат пен рәсімдерді енгізу, сондай-ақ стереотиптер мен сенімсіздіктерді еңсеру гендерлік теңдікке қол жеткізуде нағыз серпіліс болды. Гендерлік-саналы

қоғамды қалыптастыруда негізгі факторға айналатын білім беруге де көп көңіл бөлінеді. Болашақта кемсітушілікті жою және жыныстық тиесілігіне қарамастан барлық адамдар үшін тең мүмкіндіктерді қамтамасыз ету жөніндегі жұмысты жалғастыру қажет.

Гендерлік теңдікті ілгерілету тек әлеуметтік қажеттілік қана емес, сонымен қатар біздің қоғам үшін оның барлық мүшелерінің дамуы мен гүлденуіне ықпал ететін стратегиялық мақсат болып табылады [10].

Әдебиеттер

1. Индекс гендерного неравенства в Республике Казахстан [Электронный ресурс]. URL: https://gender.stat.gov.kz. -Қаралған күні: 08.12.2024.

2. Всемирный экономический форум. Global Gender Gap Report 2020 [Электронный ресурс]. URL: https://www3.weforum.org. - Қаралған күні: 08.12.2024.

3. Винокуров Е. Гендерное равенство на рынке труда https://kz.kursiv.media. - Қаралған күні: 08.12.2024.

4. Силласте Г.Г. Гендерная политика и социальный механизм ее возможной реализации.- Материалы Всероссийской научной конференции «Гендерная политика в России и в мире: экономика, управление, общество, Ивановский государственный университет, Иванов. - 2021.- С. 3-13.

5. UNDP. Tackling social norms [Электронный ресурс]. URL: https://www.undp.org. - Қаралған күні: 05.01.2024.

6. Мухина В.С. Личность: Мифы и Реальность (Альтернативный взгляд. Системный подход. Инновационные аспекты). - 5-е изд.- М. - 2017.- 1084 с.ISBN: 978-5-444-10061-5

7. «Концепция семейной и гендерной политики в Республике Казахстан до 2030 года» [Электронный ресурс]. URL: https://adilet.zan.kz. - Қаралған күні: 08.12.2024.

8. Асанова Д. А. Гендерные вопросы в образовании Казахстана: взгляд изнутри [Электронный ресурс]. URL: https://ojs.ukrlogos.in.ua. - Қаралған күні: 21.12.2024.

9. Темиргалиева Б.Е. Проблема формирования гендерного самосознания женщин Казахстана в условиях культуральной специфики, дисс…акад. звание магистр по специальности «Психология» – Шымкент. - 2021. - 118 с.

10. Сравнительный анализ состояния гендерного равенства в странах СНГ и мужчин и женщин в процессах управле ния на уровне принятия решений // www.stat.gov.kz. - Қаралған күні: 21.12.2024.

References

1. Indeks gendernogo neravenstva v Respublike Kazahstan [Jelektronnyj resurs]. URL: https://gender.stat.gov.kz. - Date of access: 08.12.2024. [in Russian]

2. Vsemirnyj jekonomicheskij forum. Global Gender Gap Report 2020 [Jelektronnyj resurs]. URL: https://www3.weforum.org. - Date of access: 08.12.2024. 3.Vinokurov E. Gendernoe ravenstvo na rynke truda https://kz.kursiv.media. -Date of access: 08.12.2024. [in Russian]

3. Sillaste G.G. Gendernaja politika i social’nyj mehanizm ee vozmozhnoj realizacii.- Materialy Vserosijskoj nauchnoj konferencii «Gendernaja politika v Rossii i v mire: jekonomika, upravlenie, obshhestvo, Ivanovskij gosudarstvennyj universitet, Ivanov. - 2021.- S. 3-13. [in Russian]

4. Sillaste G.G. Gendernaja politika i social’nyj mehanizm ee vozmozhnoj realizacii.- Materialy Vserosijskoj nauchnoj konferencii «Gendernaja politika v Rossii i v mire: jekonomika, upravlenie, obshhestvo, Ivanovskij gosudarstvennyj universitet, Ivanov. - 2021.- S. 3-13. [in Russian]

5. UNDP. Tackling social norms [electronic resource]. URL: https://www.undp.org. -Date of access: 05.01.2025.

6. Muhina V.S. Lichnost': Mify i Real'nost' (Al'ternativnyj vzgljad. Sistemnyj podhod. Innovacionnye aspekty). - 5-e izd.- M., 2017.- 1084 s.ISBN: 978-5-444-10061-5. [in Russian]

7. «Koncepcija semejnoj i gendernoj politiki v Respublike Kazahstan do 2030 goda» [Jelektronnyj resurs]. URL: https://adilet.zan.kz. -Date of access: 15.12.2024. [in Russian]

8. Asanova D. A. Gendernye voprosy v obrazovanii Kazahstana: vzgljad iznutri [Jelektronnyj resurs]. URL: https://ojs.ukrlogos.in.ua. - Date of access: 21.12.2024. [in Russian]

9. Temirgalieva B.E. Problema formirovanija gendernogo samosoznanija zhenshhin Kazahstana v uslovijah kul'tural'noj specifiki, diss…akad. zvanie magistr po special'nosti «Psihologija» – Shymkent. - 2021. - 118 s. [in Russian]

10. Sravnitel'nyj analiz sostojanija gendernogo ravenstva v stranah SNG i muzhchin i zhenshhin v processah upravle nija na urovne prinjatija reshenij // www.stat.gov.kz. - Date of access: 21.12.2024. [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Азимхан А - PhD, «Торайғыров университеті» КеАҚ, Павлодар, Қазақстан, e-mail:armoni04@mail.ru;

Доғалова Г.Н.- экономика ғылымдарының докторы, профессор, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: gdugalova@mail.ru;

Шеримова Н.М.- PhD, «Торайғыров университеті» КеАҚ, Павлодар, Қазақстан, e-mail: asanek2010@mail.ru,

Кенжетаева Г. К.- аға оқытушы, «Торайғыров университеті» КеАҚ, Павлодар, Қазақстан, e-mail: qulmira74@mail.ru;

Есберген Р. Ә. - экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, ҚР Президентінің жанындағы Мемлекеттік басқару Академиясының Ақтөбе облысы бойынша филиалы Ақтөбе, Қазақстан, e-mail: rau01021980@mail.ru.

Information about the authors

Azimkhan A.- PhD, Toraigyrov University" NAO, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: armoni04@mail.ru

Dugalova G. N.- Doctor of Economic Sciences, Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: gdugalova@mail.ru;

Sherimova N.M.- PhD, «Toraighyrov University» NCJSC, Pavlodar Kazakhstan, e-mail: asanek2010@mail.ru;

Kenzhetayeva G.K.- Senior Lecturer, Toraigyrov University" NAO, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: qulmira74@mail.ru;

Yesbergen R. - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Branch of the Academy of Public Administration under the President of the Republic of Kazakhstan in Aktobe region, docent, Aktobe, Kazakhstan, e-mail: rau01021980@mail.ru.

ҒТАМР 06.77.61 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1120**

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІНІҢ ӘСЕРІНЕН ЖҰМЫСПЕН ҚАМТУ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН КӘСІБИ ДАҒДЫЛАРҒА ДЕГЕН СҰРАНЫС ӨЗГЕРІСІ

[1]Н.А. Курманов, [2]Н.А. Ибадильдин, [3]Г. Каирлиева, [4]Ғ.Ә. Кенешева, [1]Н.А. Алдабергенов✉, [5]Вэй Фэн

[1]Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан,
[2]IT University, Астана, Қазақстан,
[3]Қазақстан инновациялық телекоммуникациялық жүйелер университеті, Орал, Қазақстан,
[4]Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан,
[5]A&F Солтүстік-Батыс университеті, Синьян, Қытай Халық Республикасы
✉*Корреспондент-автор: aport777@list.ru*

Мақалада жасанды интеллекттің (ЖИ), оның ішінде генеративті формаларының жұмыспен қамтудағы құрылымдық өзгерістерге және кәсіби дағдыларға қойылатын талаптарға әсері жан-жақты талданады. AI Index 2025 есебінің деректері мен McKinsey & Company компаниясының халықаралық сауалнамаларына негізделген қайталама талдау нәтижелері ұсынылады және генеративті технологиялардың әртүрлі салаларда таралуы, мамандандырылған ЖИ дағдыларына сұраныстың өзгеруі, сондай-ақ жұмыс берушілердің ЖИ персоналына және кадрларды қайта даярлау ауқымына қатысты болжамдары қарастырылды.

2012-2024 жылдар аралығында Python бағдарламалау тілі, деректерді талдау, процестерді автоматтандыру және бұлттық технологиялар сияқты дағдыларға сұраныстың айтарлықтай артқаны байқалды.2024 жылы генеративті ЖИ, әсіресе ChatGPT, Large Language Models, Microsoft Copilot және Retrieval Augmented Generation технологияларының жаппай таралуы тіркелді, бұл сәйкесінше жаңа жұмыс орындарының пайда болуымен сипатталды. ЖИ-дің еңбек нарығына әсері тек IT саласымен шектелмей, өнеркәсіп, білім беру, энергетика және ауыл шаруашылығы секілді салаларда да байқалды және бұл салаларда ЖИ технологиялары белсенді енгізілуде, соның нәтижесінде жұмыспен қамту құрылымында айтарлықтай өзгерістер орын алуда.

Жұмыс берушілер арасында жүргізілген сауалнамалар автоматтандыруға қатысты алаңдаушылықтың сақталғанына қарамастан, көптеген компаниялар қызметкерлер санын көбейтуді және кадрларды жаппай қайта даярлауды жоспарлап отырғанын көрсетті. Мәселен, қызметкерлердің 20%-дан астамын қайта оқытуды жоспарлаған респонденттердің үлесі 2023 жылғы 38%-дан 2024 жылы 46%-ға дейін артқан.

Мақалада макро- және микроэкономикалық деңгейдегі талдаулар ұштастырылған кешенді тәсіл ұсынылады, ол ЖИ технологияларының еңбек нарығына ықпалын ғылыми тұрғыда бағалауға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелерінің практикалық маңыздылығы – оларды цифрлық экономиканың сын-қатерлеріне бейімделген білім беру жүйесін және еңбек саясатын қалыптастыруда қолдану мүмкіндігінде. Цифрлық инфрақұрылымы қалыптасу кезеңіндегі мемлекет ретінде Қазақстан үшін бұл нәтижелердің бейімделу ерекшеліктеріне назар аударылған.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, генеративті ЖИ, еңбек нарығы, цифрлық трансформация, кәсіби дағдылар, жұмыспен қамту құрылымы, жұмыспен қамту болжамы, персоналды қайта даярлау.

ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРУКТУРЫ ЗАНЯТОСТИ И СПРОСА НА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ НАВЫКИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

[1]Н.А. Курманов, [2]Н.А. Ибадильдин, [3]Г. Каирлиева, [4]Ғ.Ә. Кенешева, [1]Н.А. Алдабергенов✉, [5]Вэй Фэн

[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
[2]Astana IT University», Астана, Казахстан,

[3]Казахстанский университет инновационных телекоммуникационных систем, Уральск, Казахстан,
[4]Карагандинский университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан,
[5]Северо-западный университет A&F, г. Синьян, Китайская Народная Республика,
e-mail: aport777@list.ru

В статье проведено исследование трансформации структуры занятости и требований к профессиональным навыкам под влиянием искусственного интеллекта, включая его генеративные формы. На основе вторичного анализа данных отчета AI Index 2025 и международных опросов McKinsey & Company рассмотрены изменения в спросе на специализированные ИИ-навыки, распространение генеративных технологий по отраслям и прогнозы работодателей относительно влияния ИИ на численность персонала и масштабы переподготовки.

Показано, что в период с 2012 по 2024 годы значительно вырос спрос на такие навыки, как Python, анализ данных, автоматизация процессов и облачные технологии. В 2024 году наблюдалось бурное распространение генеративного ИИ - особенно ChatGPT, Large Language Models, Microsoft Copilot и Retrieval Augmented Generation, что отражено в росте числа соответствующих вакансий. Отраслевая структура ИИ-занятости также претерпела изменения - наряду с ИТ-сектором, активное внедрение ИИ произошло в промышленности, образовании, энергетике и в сельском хозяйстве.

Результаты опросов работодателей продемонстрировали, что, несмотря на опасения по поводу автоматизации, растет число компаний, ожидающих увеличение численности персонала и необходимость масштабной переподготовки кадров. Доля респондентов, планирующих переобучение более 20% сотрудников, увеличилась с 38% в 2023 году до 46% в 2024 году.

Статья делает вклад в научную дискуссию о влиянии ИИ на рынок труда, предлагая комплексный подход, сочетающий макро- и микроуровневый анализ. Практическая значимость полученных выводов заключается в их применимости при разработке образовательной и трудовой политики, адаптированной к вызовам цифровой экономики. Особое внимание уделено применимости результатов для Казахстана, как страны с формирующейся цифровой инфраструктурой.

Ключевые слова: искусственный интеллект, генеративный ИИ, рынок труда, цифровая трансформация, профессиональные навыки, структура занятости, прогноз занятости, переподготовка персонала.

TRANSFORMATION OF EMPLOYMENT STRUCTURE AND DEMAND FOR PROFESSIONAL SKILLS UNDER THE INFLUENCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

[1]N.A. Kurmanov, [2]N.A. Ibadildin, [3]G. Kairliyeva, [4]G.A. Kenesheva, [1]N.A. Aldabergenov✉, [5]Wei Feng
[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]IT University, Astana, Kazakhstan,
[3]Kazakhstan University of Innovative Telecommunication Systems, Uralsk, Kazakhstan,
[4]Karaganda university of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan,
[5]Northwest A & F University, Xinyang, People' s Republic of China,
e-mail: aport777@list.ru

The article examines the transformation of the employment structure and professional skills requirements under the influence of artificial intelligence, including its generative forms. Based on a secondary analysis of data from the AI Index 2025 report and international surveys by McKinsey & Company, changes in demand for specialized AI skills, the spread of generative technologies across industries, and employer forecasts regarding the impact of AI on the number of staff and the scale of retraining are considered. It is shown that in the period from 2012 to 2024, the demand for skills such as Python, data analysis, process automation, and cloud technologies increased significantly. In 2024, there was a rapid spread of generative AI - especially ChatGPT, Large Language Models, Microsoft Copilot and Retrieval Augmented Generation, which is reflected in the growing number of relevant vacancies. The

sectoral structure of AI employment has also undergone changes. Along with the IT sector, AI has been actively introduced in industry, education, energy, and agriculture. The results of employer surveys have shown that, despite concerns about automation, there is a growing number of companies anticipating an increase in staff numbers and the need for extensive retraining. The share of respondents planning to retrain more than 20% of employees increased from 38% in 2023 to 46% in 2024. The article contributes to the scientific discussion about the impact of AI on the labor market by offering a comprehensive approach combining macro- and micro-level analysis. The practical significance of the findings lies in their applicability in the development of educational and labor policies adapted to the challenges of the digital economy. Special attention is paid to the applicability of the results for Kazakhstan, as a country with an emerging digital infrastructure.

Keywords: artificial intelligence, generative AI, labor market, digital transformation, professional skills, employment structure, employment forecast, staff retraining.

Кіріспе. Қазіргі таңда жасанды интеллект (ЖИ) технологияларының, әсіресе оның генеративті түрлерінің қарқынды дамуы еңбек нарығындағы құрылымдық өзгерістерге және кәсіби дағдыларға қойылатын талаптарға елеулі ықпал етуде. Экономиканы цифрландыру және жеделдетілген технологиялық прогресс жағдайында адами капиталға қойылатын талаптар түбегейлі өзгеріп, бұл еңбек ресурстарын басқару, білім беру саясаты мен стратегиялық жоспарлау тәсілдерін жүйелі түрде қайта қарауды қажет етеді.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі – еңбек нарығында жасанды интеллекттің ықпалымен жүріп жатқан трансформациялық үдерістерді ғылыми тұрғыда талдау қажеттілігінде. Соңғы жылдары бұл салада эмпирикалық зерттеулер саны артқанына қарамастан, генеративті ЖИ технологияларын енгізу нәтижесінде туындайтын дағдылар құрылымындағы өзгерістер, салалар арасындағы ерекшеліктер және кадрларды қайта даярлау қажеттілігі әлі де жеткілікті дәрежеде зерттелмеген. Бұлар аталмыш тақырыптың ғылыми және қолданбалы маңыздылығын айқындай түседі және зерттеу үшін өзекті әрі тың бағытты қалыптастырады.

Зерттеу нысаны болып цифрлық трансформация жағдайындағы еңбек нарығы, ал зерттеу пәні ретінде генеративті ЖИ әсерінен кәсіби дағдыларға сұраныс құрылымындағы өзгерістер мен жұмыспен қамтылғандар санының динамикасы беріледі.

Жұмыс мақсаты - ашық деректер мен сараптамалық болжамдар негізінде экономиканың түрлі салаларындағы жұмыспен қамту құрылымы мен кәсіби құзыреттер жүйесіндегі өзгерістерді талдау. Негізгі гипотезасы генеративті ЖИ технологияларын енгізу тек дәстүрлі қызмет салаларындағы жұмыс орындарының азаюына ғана емес, сонымен қатар кадрларды жаппай қайта даярлауды талап ететін жаңа құзыреттілік профильдерінің пайда болуына ықпал етуінде.

Осы мақсатқа жету үшін зерттеу аясында келесі міндеттер алға қойылды: ЖИ технологияларының еңбек нарығына әсерін зерттеудегі теориялық тәсілдерді жүйелеу; экономиканың әртүрлі секторларында дағдылар мен ЖИ-ге қатысты бос жұмыс орындарына сұраныстағы өзгерістерді талдау; жұмыс берушілердің персонал саны және қайта даярлау стратегиялары бойынша күтулеріндегі салалық айырмашылықтарды айқындау; цифрлық экономика жағдайында жұмыспен қамту мен білім беру саясаты үшін ұсынымдар мен қорытындыларды тұжырымдау.

Зерттеу әдіснамасы – құрылымдық және салыстырмалы талдау әдістерін, халықаралық сауалнамалар мен ресми статистикалық мәліметтерге негізделген қайталама талдауды, сондай-ақ ғылыми дереккөздер мен болжамдарды жүйелеуді қамтиды. Жұмыстың ғылыми және практикалық маңыздылығы – жасанды интеллектке негізделген экономикалық модельдерге көшу жағдайында, әсіресе цифрлық инфрақұрылымы қалыптасу кезеңіндегі Қазақстан сияқты елдер үшін, білім беру мен кадр даярлау салаларындағы саясатты тиімді құруға арналған ұсыныстарды әзірлеу мүмкіндігінде жатыр.

Материалдар мен әдістер. Жасанды интеллектті, соның ішінде оның генеративті формаларын қоса алғанда, жұмыспен қамту құрылымын трансформациялаудың өзектілігі – бизнес-процестерге цифрлық технологияларды жедел енгізу үдерісімен және экономиканың түрлі секторларындағы кадрларды даярлау жүйесінің жаңғыруымен тығыз байланысты. Қазіргі кезеңдегі технологиялық өзгерістердің жоғары қарқыны және еңбек нарығындағы белгісіздіктің артуы бұл мәселені ғылыми тұрғыдан кешенді зерттеуді қажет етеді. Осыған орай, зерттеу барысында ғылыми әдебиеттерге шолу жасау мен қолда бар статистикалық және сараптамалық деректерді эмпирикалық тұрғыдан талдау әдістері ұштастырылған кешенді тәсіл қолданылды. Бұл тәсіл өзгермелі технологиялық орта жағдайында еңбек нарығының трансформациясын жан-жақты түсіндіруге мүмкіндік береді.

Осы жұмыстың негізгі зерттеу сұрағы төмендегідей тұжырымдалды:

Жасанды интеллектінің әсерінен экономиканың түрлі салаларындағы кәсіби дағдылар мен кадрларға сұраныс құрылымы қандай өзгерістерге ұшырайды?

Ұсынылып отырған негізгі гипотеза – генеративті ЖИ технологияларын кең ауқымда енгізу кәсіби құзыреттерге деген сұранысты әртараптандырады, жұмыспен қамтудың салалық құрылымына елеулі өзгерістер енгізеді және цифрлық экономика жағдайында кадрларды қайта даярлау ауқымының артуына алып келеді.

Әдебиеттерге шолу ЖИ-дің еңбек нарығына ықпалын сипаттайтын негізгі ғылыми басылымдарды қамтиды. Бұл еңбектерде теориялық көзқарастармен қатар, эмпирикалық бағалаулар да ұсынылған. Lane және Saint-Martin (2021) [1] мәліметтеріне сүйенсек, ЖИ-дің жұмыспен қамтуға әсері күрделі әрі салалар бойынша біркелкі емес сипатқа ие. Zarifhonarvar (2024) [2] ChatGPT-ті жұмыспен қамту құрылымын өзгертетін ықпалды экономикалық фактор ретінде қарастырады. Su, Togay және Côté (2021) [3] жасанды интеллекттің қосарлы табиғатын атап өтеді: ол бір жағынан дәстүрлі мамандықтарды ығыстырып шығарса, екінші жағынан жаңа жұмыс түрлерін ынталандырады. Zhang (2023) [4] ЖИ индустриясының жұмыспен қамтудың сандық және сапалық параметрлеріне әсерін көрсетсе, ал Cramarenco, Burcă-Voicu және Dabija (2023) [5] қызметкерлердің дағды құрылымы мен әл-ауқатына әсер ететін факторларды талдайды. Verma және әріптестері (2022) [6] ЖИ саласындағы ең сұранысқа ие құзыреттердің тізімін ұсынады. Генеративті жасанды интеллекттің мамандардың өнімділігі мен жұмыс сапасына ықпалы Brynjolfsson және т.б. (2025) [7], Dell’ Acqua және т.б. (2023) [8], сондай-ақ Hoffmann және т.б. (2024) [9] зерттеулерінде кеңінен қарастырылған. Аймақтық факторлар мен цифрлық теңсіздік құзыреттерді дамытудағы контекстік алғышарттар ретінде Kurmanov және т.б. (2022) [10] мен Akimov және т.б. (2023) [11] еңбектерінде сарапталған.

Осы зерттеудің материалдық негізін AI Index 2025 (Maslej және т.б., 2025) есебінде ұсынылған жиынтық статистикалық және сауалнамалық деректер құрайды [12]. Атап айтқанда, ЖИ саласындағы бос жұмыс орындарының динамикасы, нақты дағдыларға деген сұраныс, жасанды интеллектке қатысты жұмыспен қамтудың салалық құрылымы, сондай-ақ McKinsey & Company компаниясының ЖИ-дің персонал санына және қайта даярлау қажеттілігіне әсері жөніндегі болжамдары қамтылған.

Зерттеудің әдіснамалық базасы келесі құрамдас бөліктерді қамтиды: статистикалық және сауалнамалық деректерді қайталама талдау әдістері; құрылымдық және салыстырмалы талдау; негізгі параметрлер (ЖИ бойынша бос жұмыс орындарының үлесі, сұранысқа ие дағдылар, болжамдар) бойынша өзгерістерді графикалық түрде визуализациялау; алынған қорытындылардың негізділігін растау мақсатында ғылыми дереккөздерді жүйелеу.

Талдау бірнеше кезең бойынша жүзеге асырылды:

1.2012–2024 жылдар аралығындағы ЖИ саласындағы бос жұмыс орындары негізінде сұранысқа ие дағдылардың динамикасын салыстырмалы түрде талдау.

2. Экономиканың әртүрлі секторларындағы ЖИ-бос жұмыс орындарының үлесінде орын алған өзгерістерді бағалау.

3. Генеративті ЖИ-дің жұмыспен қамту құрылымына және кадрларды қайта даярлау ауқымына ықпалына қатысты болжамдарды зерттеу.

4. Бұрын жарияланған ғылыми зерттеулер негізінде алынған нәтижелерді интерпретациялау.

Қол жеткізілген нәтижелердің сенімділігі мен негізділігін қамтамасыз ету үшін зерттеуде деректерді өңдеу процедураларының кешені қолданылды. Бірінші кезеңде барлық статистикалық және сауалнама деректері бірыңғай нұсқаға келтірілді, олардың толықтығы мен салыстырмалылығына тексеру жүргізілді. Келесі кезекте ақпарат массивтеріне алдын ала тазарту жүргізілді: шамадан тыс мәндерді, қайталанатын және толық емес бақылауларды алып тастау, сондай-ақ көрсеткіштерді қалыпқа және салыстырмалы өлшем бірліктеріне келтіру. Келесі кезеңде 2012-2024 жылдардағы тенденцияларды анықтау үшін динамикалық қатарларды талдау әдістері қолданылды. Негізгі параметрлерді визуализациялау графиктер арқылы жүзеге асырылды, бұл ЖИ-дағдыларына сұраныстың эволюциясын, жұмыспен қамтудың салалық құрылымындағы өзгерістерді және болжамды сценарийлерді анық көрсетуге мүмкіндік берді. Сандық талдау, қайталама деректерді және салыстырмалы зерттеулердің интеграциясына негізделген мұндай әдістемелік тәсіл генеративті жасанды интеллекттің еңбек нарығына әсерін жан-жақты бағалауды қамтамасыз етті және цифрландыру жағдайында білім беру және еңбек саясаты үшін тәжірибеге бағытталған ұсыныстарды тұжырымдауға мүмкіндік берді.

Әдістемелік тәсілдің жаңашылдығы еңбек нарығындағы үрдістерге макроэкономикалық баға беруді ЖИ саласында сұранысқа ие кәсіби құзыреттерге микро-деңгейде жүргізілетін талдаумен үйлестіре отырып, еңбек нарығының трансформациясын кешенді бағалауға мүмкіндік беруінде. Мұндай тәсіл цифрлық трансформация жағдайында білім беру және еңбек саясатын жетілдіруге арналған ғылыми негізделген ұсыныстар әзірлеуге мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелерінің практикалық маңыздылығы оларды жасанды интеллекттің әсерінен болатын құрылымдық өзгерістерге бейімделген ұлттық құзыреттілік стратегиясын әзірлеу ісінде қолдануға болады және бұл әсіресе цифрлық экономикасы қалыптасу сатысында тұрған Қазақстан сияқты елдер үшін өзекті болып табылады.

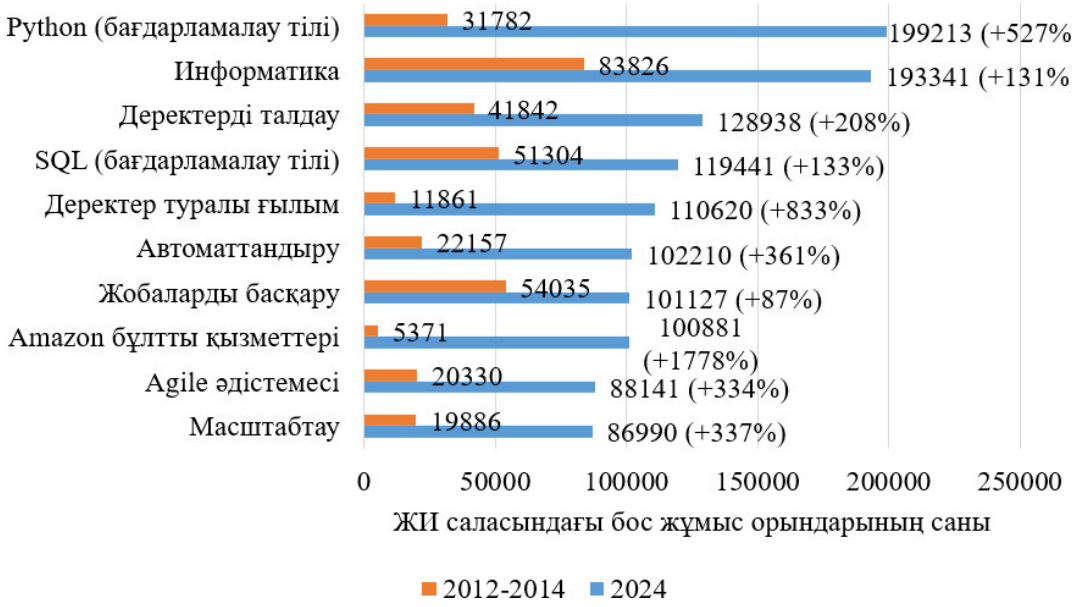
Нәтижелер және талқылау. Жасанды интеллекттің қарқынды дамуы еңбек нарығындағы кәсіби дағдыларға қойылатын талаптар құрылымына елеулі өзгерістер енгізуде. Технологиялық трансформация жағдайында кәсіпорындар бизнес-процестерін қайта қарап, цифрлық шешімдерді кеңінен енгізуге көшуде, сонымен қоса бұл жағдай, өз кезегінде, жаңа типтегі құзыреттерге деген сұраныстың артуына алып келді.

1-сурет 2012–2014 және 2024 жылдар аралығындағы деректерді салыстыру арқылы жасанды интеллект саласындағы бос жұмыс орындарында сұранысқа ие ең маңызды он мамандандырылған дағдының динамикасын бейнелейді.

1-суреттегі деректерге сәйкес, 2024 жылы 199 213 жұмыс орнында Python бағдарламалау тілін білуге сұраныс болған, бұл көрсеткіш 2012–2014 жылдардағы деңгейден алты есе жоғары (31 782 жұмыс орны). Маңыздылығы жағынан екінші орында – информатика саласындағы дағдылар, олар 193 341 бос жұмыс орнында талап етілген, бұл базалық кезеңдегі 83 826 көрсеткішінен айтарлықтай артық. Сонымен қатар, деректерді талдау дағдыларына (128 938 қарсы 41 842), SQL тілін білуге (119 441 қарсы 51 304), және деректер ғылымындағы құзыреттілікке (110 620 қарсы 11 861) деген сұраныстың да айтарлықтай артқаны байқалады.

Процестерді автоматтандыру (102 210), жобаларды басқару (101 127), Amazon Web Services бұлтты қызметтері (100 881) және Agile әдістемесі (88 141) сияқты басқару мен инфрақұрылымға қатысты дағдыларға ерекше назар аударылады. Бұл құзыреттердің әрқайсысы алдыңғы онжылдықпен салыстырғанда бірнеше есе өсім көрсетіп отыр. Сонымен қатар, тұрақты және

тиімді ЖИ шешімдерін құрудың негізгі элементі болып табылатын, салыстырмалы түрде «техникалық емес» масштабтау дағдысына деген сұраныс та едәуір артқан – бұл көрсеткіш 19 886-дан 86 990-ға дейін өскен.



1 - сурет. 2012-2014 және 2023 жылдардағы жасанды интеллект саласындағы бос жұмыс орындарда жиі кездесетін мамандандырылған Топ-10 дағды

Ескерту - [12] деректері негізінде авторлар құрастырған

Аталған нәтижелер жұмыс берушілер талаптарының эволюциясын нақты сипаттайды және ЖИ саласындағы мамандардың құзыреттілік бейіні енді аналитикалық, инженерлік, басқарушылық және бағдарламалық дағдыларды интеграциялау бағытына қарай өзгергенін көрсетеді.

Талдаудың келесі аспектісіне көше отырып, 2-суретте 2023 және 2024 жылдардағы ЖИ саласындағы бос жұмыс орындарында генеративті жасанды интеллектке қатысты негізгі дағдыларға деген сұраныс динамикасы ұсынылған.

2-суреттегі деректер генеративті технологияларды іс жүзінде қолдануға жұмыс берушілердің қызығушылығының қарқынды артып келе жатқанын көрсетеді, бұл олардың цифрлық экономикадағы маңыздылығының өсіп келе жатқанын дәлелдейді.

2024 жылы ең жоғары абсолюттік көрсеткіш «генеративті жасанды интеллект» дағдысына қатысты тіркелді - 66 635 бос жұмыс орны, бұл өткен жылдың көрсеткішінен 4,2 есе көп. Екінші орынды үлкен тілдік модельдер алады – 19 562 бос жұмыс орны, бұл 2023 жылмен салыстырғанда 295%-ға артқан. Сонымен қатар, өнеркәсіптік инженерия (6 263 бос жұмыс орны, 350% өсу) және ChatGPT қолдану (5 664 бос жұмыс орны, +86%) сияқты бағыттарда да айтарлықтай өсім байқалды.

Арнайы технологиялар ерекше назар аударуға лайық: экстракциямен толықтырылған генерация (Retrieval-Augmented Generation, RAG) бойынша сұраныс 2047%-ға, ал Microsoft Copilot бойынша 2238%-ға артқан. Бұл көрсеткіштер генеративті құралдардың қолданбалы бизнес-процестерге жедел енгізіліп жатқанын айқын көрсетеді. Өсім қарқыны сондай-ақ вариациялық автокодерлер (VAEs) мен мультимодальды модельдер бойынша тіркелген – тиісінше 89% және 1566%.



2 - сурет.2023 және 2024 жылдардағы жасанды интеллект саласындағы бос жұмыс орындарда генеративті жасанды интеллектке қатысты дағдылар

Ескерту - [12] деректері негізінде авторлар құрастырған

Сонымен қатар, мәтіннен сөйлеуге түрлендіру (TTS) дағдыларын талап ететін жұмыс орындарының саны екі есеге жуық азайғаны байқалады (2021 жылы – 1 045 бос жұмыс орны), бұл дәстүрлі сөйлеу синтезі тапсырмаларынан неғұрлым кешенді және креативті ЖИ шешімдеріне сұраныстың ауысуын көрсетеді.

Осылайша, жүргізілген талдау 2024 жылы жоғары мамандандырылған технологиялардан компаниялардың күнделікті қызметіне интеграцияланатын генеративті құралдардың кең спектріне көшу үрдісінің қалыптасқанын айқындайды. Бұл өз кезегінде жасанды интеллект мамандарының құзыреттілік бейінін қайта қарастыру қажеттігін туындатады.

Әрі қарай, 3-сурет 2023 және 2024 жылдардағы экономиканың әртүрлі секторларындағы жасанды интеллектке қатысты бос жұмыс орындарының үлесіндегі өзгерістерді көрсетеді.

3-сурет деректері ЖИ-технологияларының салалық жұмыспен қамту құрылымына интеграциясының жалпы өсімін көрсетеді, бұл цифрлық трансформацияның экономикалық қызмет түрлері деңгейінде кеңейіп жатқанын білдіреді.

2024 жылы ЖИ-ге қатысты бос жұмыс орындарының ең жоғары үлесі ақпараттық технологиялар саласында тіркелген – 9,33%, бұл алдыңғы жылғы көрсеткішпен салыстырғанда (5,19%) едәуір артық. Сондай-ақ айтарлықтай өсім кәсіби, ғылыми және техникалық қызметтер саласында байқалды – 4,00%-дан 5,25%-ға дейін, сондай-ақ қаржы және сақтандыру секторында – 3,24%-дан 3,76%-ға дейін. Өңдеу өнеркәсібінде ЖИ-бос орындар үлесі 2,88%-дан 3,75%-ға дейін өскен, бұл өндірістік процестерге интеллектуалды шешімдерді белсенді енгізу барысын көрсетеді.

ЖИ технологияларына қызығушылықтың артуы сондай-ақ энергетика және тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық саласында (1,39%-дан 2,15%-ға дейін), білім беру (1,79%-дан 2,05%-ға дейін), компаниялар мен кәсіпорындарды басқару (1,69%-дан 1,92%-ға дейін), сондай-ақ пайдалы қазбалар, мұнай және газ өн-

діру салаларында (1,11%-дан 1,87%-ға дейін) да тіркелді. Аталған салаларда деректерді талдау мен шешім қабылдау процестерінің автоматтандырылуы есебінен тұрақты цифрландыру үрдісі байқалады.



3 - сурет.2023 және 2024 жылдардағы секторлар бойынша жасанды интеллект саласындағы бос жұмыс орындарының үлесі (жалпы бос жұмыс орындары санының ішінде, %)

Ескерту - [12] деректері негізінде авторлар құрастырған

ЖИ-бос орындар үлесінің өсімі сондай-ақ бөлшек саудада (0,57%-дан 1,16%-ға дейін), ауыл және орман шаруашылығы, балық аулау және аңшылықта (0,87%-дан 1,07%-ға дейін), сондай-ақ көлік және қойма саласында (0,61%-дан 0,82%-ға дейін) байқалды. Бұл ЖИ құралдарының жоғары технологиялық салалардан тыс, дәстүрлі әрі бұрын цифрлық тұрғыдан аз қамтылған секторларға да таралып жатқанын көрсетеді.

Бос орындар үлесінің төмендеуі байқалатын жалғыз бағыт – мемлекеттік басқару, онда ЖИ-бос орындар үлесі 2023 жылғы 1,76%-дан 2024 жылы 1,29%-ға дейін азайған, бұл құбылыс нормативтік шектеулермен, басқару құрылымдарының инерциясымен немесе мемлекеттік сектордағы цифрлық бастамалардың жеткілікті жетілмеуімен байланысты болуы мүмкін.

Осылайша, ұсынылған деректер ЖИ саласындағы мамандарға деген сұраныстың салалық тұрғыдан тереңдей диверсификацияланып жатқанын және цифрлық экономикаға кадр даярлау аясында пәнаралық құзыреттерді қалыптастырудың стратегиялық маңыздылығын растайды.

4-сурет он түрлі сала бойынша персонал санының болжамды өзгерісін және жиынтық орташа көрсеткішті бейнелейді, бұл генеративті жасан-

ды интеллекттің жұмыспен қамту құрылымына орта мерзімді перспективада тигізетін ықпалының ауқымы мен әркелкілігін визуализациялауға мүмкіндік береді.



4 - сурет. Генеративті жасанды интеллекттің әсерінен әртүрлі салалардағы персонал санының өзгерісіне қатысты болжамдар

Ескерту - [12] деректері негізінде авторлар құрастырған

Ұйымдардағы негізгі функционалдық бағыттардың өкілдері қатысқан McKinsey & Company (2024) сауалнамасының нәтижелері бойынша салалар бойынша болжамдардың әртектілігі (гетерогенділігі) жоғары деңгейде екені атап өтіледі. Мәселен, клиенттерге операциялық қолдау көрсету саласында персонал санының қысқаруы ең ықтимал деп бағаланады: респонденттердің 15%-ы қызметкерлер санының 20%-дан астамға, ал тағы 17%-ы – 11–20%-ға төмендеуін күтеді. Логистика және қорларды басқару саласында да ұқсас үрдістер байқалады, мұнда қысқартуларға қатысты жиынтық күту респонденттердің 47%-ын құрайды. Екінші жағынан, маркетинг, сату және стратегиялық басқару салалары ең жоғары тұрақтылықты көрсетіп отыр: сауалнамаға қатысушылардың сәйкесінше 38%-ы және 29%-ы қазіргі жұмыспен қамту деңгейі сақталады деп есептейді.

Жасанды интеллекттің әсерінен персонал санының артуы компаниялардың шектеулі бөлігі тарапынан болжануда. Өсімге қатысты ең жоғары үміт ақпараттық технологиялар саласында тіркелген, мұнда респонденттердің 14%-ы қызметкерлер санының 20%-дан астамға артуын болжайды. Болжам жасауға қатысты белгісіздіктің

орташа деңгейі салаларға қарай 9%-дан 15%-ға дейін ауытқиды, бұл еңбек ресурстарын цифрлық трансформация жағдайына бейімдеуде айқын сценарийлер мен дайын шешімдердің тапшылығын білдіреді.

2023 және 2024 жылдардағы ұйымдардағы жұмыспен қамтуға жасанды интеллекттің ықпалын қабылдау динамикасын салыстыру жұмыс берушілердің күтуінің қалыпты оптимизмге ауысқанын және ауқымды қысқартуларға қатысты алаңдаушылықтың азайғанын көрсетеді. Бұл, әсіресе, бизнес-процестердің жедел цифрлануы және корпоративтік ортаға генеративті ЖИ модельдерінің кеңінен енуі жағдайында ерекше маңызды.

5-сурет 2023–2024 жылдар аралығында жасанды интеллекттің ықпалымен қысқарту тәуекелдері мен персонал санының арту мүмкіндіктері арасындағы тепе-теңдіктің ауысуын бейнелей отырып, жеті санат бойынша күтулер өзгерісінің динамикасын көрнекі түрде ұсынады.



5 - сурет. Ұйымдардағы қызметкерлер санына ЖИ-дің әсеріне қатысты күтулер, алдағы 3 жылға болжам (2023 және 2024 жылдар салыстырмасы)

Ескерту - [12] деректері негізінде авторлар құрастырған

5-суреттегі мәліметтерге сәйкес, шамалы өзгерістерді немесе олардың болмауын болжаған респонденттердің үлесі 2023 жылғы 30%-дан 2024 жылы 31%-ға дейін өскен және бұл көрсеткіш ең ірі санат болып қала беруде, бұл жалпы сақтық ұстанымының таралғанын білдіреді. Сонымен қатар, жұмыспен қамтудың 3–10% аралығындағы орташа төмендеуін болжаған компаниялар үлесі 25%-дан 14%-ға дейін, яғни 11 пайыздық тармаққа азайған.

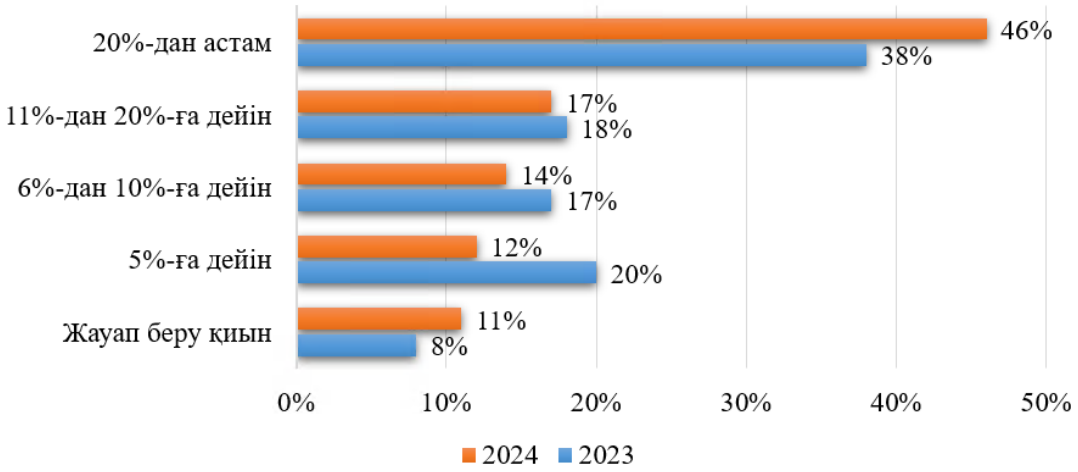
Сонымен қатар, өсім күтілетін жауаптар бойынша оң динамика тіркелді. 2023 жылы қызметкерлер санының 20%-дан астамға өсуін респонденттердің тек 3%-ы болжаған болса, 2024 жылы бұл көрсеткіш 8%-ға жеткен.3–10% аралығындағы өсімді компаниялардың 10%-ы күтеді (2023 жылғы 8%-бен салыстырғанда), ал 11–20% аралығындағы өсімді 4%-дың орнына 5% болжаған. Бұл өзгерістер жасанды интеллекті интеграциялаудың сәтті мысалдарының таралуын да, компания стратегияларының жаңа технологиялық жағдайларға бейімделуін де көрсе-

туі мүмкін.

Сондай-ақ, жасанды интеллекттің ықпалын бағалауда қиналған респонденттердің үлесінің 12%-дан 14%-ға дейін артқанын атап өткен жөн, бұл автоматтандырудың қарқыны мен бағыттарына қатысты белгісіздіктің әлі де сақталып отырғанын білдіреді.

Ұйымдардың күнделікті қызметіне жасанды интеллекттің кеңінен енгізілуі кадрларды қайта даярлау және жаңа құзыреттерді дамыту қажеттілігін күшейтуде. Кәсіби дағдыларды қайта бейімдеу – еңбек нарығындағы өзгермелі талаптарға және жұмыс орындарының функционалдық құрылымындағы өзгерістерге бейімделудің негізгі шартына айналуда.

6-сурет 2023–2024 жылдар аралығында жасанды интеллекттің ықпалымен персоналды қайта даярлау ауқымына қатысты күтулер құрылымындағы өзгерістерді бейнелейді. Бұл сурет қайта даярлау процесіне тартылған қызметкерлердің шамалы үлесінен неғұрлым ауқымды үлесіне қарай ығысу үрдісін көрнекі түрде көрсетеді.



6 - сурет. Жасанды интеллектті енгізуге байланысты қайта даярлауға жататын қызметкерлердің күтілетін үлесі: 2023 және 2024 жылдар салыстырмасы

Ескерту - [12] деректері негізінде авторлар құрастырған

McKinsey & Company мәліметтері бойынша, 2023–2024 жылдар аралығында компаниялар қайта даярлауды жоспарлап отырған қызметкерлер үлесінің арту үрдісі байқалады. Егер 2023 жылы респонденттердің 38%-ы қызметкерлердің 20%-дан астамы қайта оқытуды қажет етеді деп көрсетсе, 2024 жылы бұл үлес 46%-ға дейін өскен. Бұл жасанды интеллекттің ықпал ету ауқымына қатысты хабардарлықтың артқанын және сонымен қатар кадрлық әлеуетті қайта құруға ұйымдардың дайындығының күшейгенін көрсетеді.

Қызметкерлердің 5%-ына дейін қайта даярлау қажеттілігін күтетін компаниялар үлесі 20%-дан 12%-ға дейін азайды, бұл ең аз өзгерістерді болжайтын ұйымдар үлесінің төмендегенін көрсетуі мүмкін. Сондай-ақ, 6–10% аралығындағы (17%-дан 14%-ға) және 11–20% аралығындағы (18%-дан 17%-ға) топтар үлесі қысқарды, бұл күтулердің жоғары мәндерге қайта бөлінгенін растайды. Сонымен бірге, жауап беруде қиналған респонденттер үлесінің 8%-дан 11%-ға дейін өсуі – қайта даярлау бағдарламаларының форматы, мерзімі және мазмұнына қатысты белгісіздіктің әлі де өзекті екенін көрсетеді.

Қорытынды. Бұл зерттеудің мақсаты – экономиканың әртүрлі секторларындағы бос жұмыс орындары мен жұмыспен қамту болжамдары негізінде жасанды интеллектті, соның ішінде оның генеративті нысандарын кеңінен енгі-

зу жағдайында дағдылар мен еңбек ресурстарына сұраныс құрылымының трансформациясын талдау болды. Жұмыстың әдіснамалық негізі – бос жұмыс орындарының құрылымы туралы ашық деректерді сандық талдау мен халықаралық сауалнамалар аясында алынған сараптамалық болжамдарға сүйенуге негізделген, бұл жұмыспен қамту саласындағы ағымдағы және болашақтағы өзгерістерді кешенді бағалауға мүмкіндік берді.

Зерттеу нәтижелері ЖИ-ге байланысты әмбебап техникалық және мамандандырылған дағдыларға сұраныстың тұрақты өсу тенденциясын көрсетті. Соңғы онжылдықта бағдарламалау, деректерді талдау, автоматтандыру және бұлтты есептеулер сияқты дағдыларға сұраныс күрт өскен. Әсіресе генеративті жасанды интеллект саласындағы – үлкен тілдік модельдермен жұмыс, промпт инженериясы, ChatGPT мен Microsoft Copilot сияқты құралдарды қолдану бағыттарында сұраныс өте қарқынды өсуде.

Цифрландыру қарқынының салалық диверсификациясы да анықталды. Дәстүрлі технологиялық салалар – АТ мен кәсіби қызметтермен қатар, ЖИ білім беру, сауда, өнеркәсіп, энергетика және компанияларды басқару салаларына да белсенді енгізілуде. Алайда, мемлекеттік сектордағы бос жұмыс орындары үлесінің азаюы байқалды, бұл цифрлық мемлекеттік басқару саясатын қалыптастыру кезінде ерекше назар аударуды талап етеді.

Генеративті ЖИ қызметкерлер санына әсері жөніндегі жұмыс берушілердің болжамдары салалар бойынша айтарлықтай әркелкілікті көрсетеді. Кейбір салалар, әсіресе логистика, персоналды басқару және клиенттерге қызмет көрсету, персоналды оңтайландыруға ұмтылса, АТ мен стратегиялық басқару салаларында білікті кадрларға деген сұраныстың артқаны байқалады. Көптеген компаниялар персоналды ауқымды қайта даярлау қажеттілігін, әсіресе жаңа цифрлық құралдарға бейімдеу бағытында атап өтуде.

Іс жүзінде анықталған нәтижелер мемлекеттік саясаттың басым бағыттарын нақтылауға мүмкіндік береді. Қазақстан жағдайында бірінші кезекте ақпараттық-коммуникациялық технологиялар, энергетика, білім беру және ауыл шаруашылығы сияқты салаларда цифрлық дағдыларды дамытуға күш-жігерді жұмылдыру орынды. Деректерді талдау, бағдарламалау, жасанды интеллект технологияларын қолдану және цифрлық шешімдерді басқару саласындағы құзыреттерді қалыптастыру өте маңызды. Одан бөлек, білім беру саясаты шеңберінде мектептер мен жоғары сынып оқушыларында цифрлық сауаттылықты ерте қалыптастыру бойынша нысаналы шараларды енгізу, сондай-ақ білім беру процесінде жасанды интеллекттің генеративті технологияларын тиімді пайдалану үшін педагог кадрларды қайта даярлау бағдарламаларын дамыту ұсынылады, бұл еңбек нарығының талаптарына сәйкес жаңа кәсіби құзыреттерді қалыптастыруға мүмкіндік береді.

Осылайша, зерттеу нәтижелері цифрлық экономика жағдайында адами капиталға қойылатын талаптардың құрылымдық қайта құрылуын растайды. Алынған тұжырымдар жұмыспен қамту, цифрлық білім беру, сондай-ақ ЖИ саласындағы құзыреттерді дамытуға бағытталған ұлттық бағдарламаларды әзірлеу үшін қолданбалы мәнге ие.

Болашақта зерттеуді кеңейту үшін аймақтық ерекшеліктерді есепке алу және білім беру жүйелерінің жаңа еңбек нарығының сұраныстарына бейімделу механизмдерін талдау орынды болмақ. Сонымен қатар, аз цифрландырылған салаларда ЖИ-ді енгізудегі институционалдық кедергілерді зерттеу және цифрлық трансформацияға кадр дайындау ісінде бизнес, мемлекет және академиялық орта арасындағы тиімді өзара іс-қимыл модельдерін анықтау – ерекше назарды қажет ететін бағыттардың бірі болып табылады.

Қаржыландыру. *Мақала Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары білім министрлігінің AP25796617 «Қазақстанның өңірлік еңбек нарықтарының цифрлық трансформациясы: бағалау және даму перспективалары» гранттық қаржыландыру жобасы аясында дайындалған.*

Әдебиеттер

1. Lane M., Saint-Martin A. The impact of Artificial Intelligence on the labour market: What do we know so far? //OECD Social, Employment, and Migration Working Papers. - 2021. - №256. - P.01-60. DOI 10.1787/7c895724-en.

2. Zarifhonarvar A. Economics of chatgpt: A labor market view on the occupational impact of artificial intelligence //Journal of Electronic Business & Digital Economics. -2024. - Vol.3(2). - P.100-116. DOI 10.1108/JEBDE-10-2023-0021.

3. Su Z., Togay G., Côté A. M. Artificial intelligence: a destructive and yet creative force in the skilled labour market //Human Resource Development International. - 2021. - Vol.24(3). - P.341-352. DOI 10.1080/13678868.2020.1818513.

4. Zhang Z. The impact of the artificial intelligence industry on the number and structure of employments in the digital economy environment //Technological Forecasting and Social Change. - 2023. - № 197. - P. 122881. DOI 10.1016/j.techfore.2023.122881.

5. Cramarenco R. E., Burcă-Voicu M. I., Dabija D. C. The impact of artificial intelligence (AI) on employees' skills and well-being in global labor markets: A systematic review //Oeconomia Copernicana. - 2023. - Vol.14(3). - P.731-767. DOI 10.24136/oc.2023.022.

6. Verma A., Lamsal K., Verma P. An investigation of skill requirements in artificial intelligence and machine learning job advertisements //Industry and Higher Education. - 2022. - Vol.36(1). - P.63-73. DOI 10.1177/0950422221990990.

7. Brynjolfsson E., Li D., Raymond L. Generative AI at work //The Quarterly Journal of Economics. - 2025. - 140(2). - P.889-942. DOI 10.1093/qje/qjae044.

8. Dell' Acqua F., McFowland III E., Mollick E. R., Lifshitz-Assaf H., Kellogg K., Rajendran S., Lakhani K. R. Navigating the jagged technological frontier: Field experimental evidence of the effects of AI on knowledge worker productivity and quality //Harvard Business School Technology & Operations Mgt. Unit Working Paper. - 2023. - №.24-013. -58 p. DOI 10.2139/ssrn.4573321.

9. Hoffmann M., Boysel S., Nagle F., Peng S., Xu K. Generative AI and the Nature of Work. – CESifo Working Paper, 2024. - №.11479. - 74 p.

10. Kurmanov N., Niyazov M., Tolysbayev B., Kirdasinova K., Mukhiyayeva D., Baidakov A., Seitzhanov S. Digital divide of resource-based (oil and gas) and service-dominated regions //Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. - 2022. - Vol.8(4):184. DOI 10.3390/joitmc8040184.

11. Akimov N., Kurmanov N., Uskelenova A., Aidargaliyeva N. Components of education 4.0 in open innovation competence frameworks: Systematic review //Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. - 2023. - Vol.9(2):100037. DOI 10.1016/j.joitmc.2023.100037.

12. Nestor Maslej, Loredana Fattorini, Raymond Perrault, Yolanda Gil, Vanessa Parli, Njenga Kariuki, Emily Capstick, Anka Reuel, Erik Brynjolfsson, John Etchemendy, Katrina Ligett, Terah Lyons, James Manyika, Juan Carlos Niebles, Yoav Shoham, Russell Wald, Tobi Walsh, Armin Hamrah, Lapo Santarlasci, Julia Betts Lotufo, Alexandra Rome, Andrew Shi, Sukrut Oak. Artificial Intelligence Index Report 2025////The AI Index 2025 Annual Report, AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University, Stanford, CA, April 2025. – 456 p. DOI 10.48550/arXiv.2504.07139

Авторлар туралы мәліметтер

Курманов Н.А.- PhD, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Менеджмент кафедрасының

профессор-зерттеуші, Астана, Қазақстан, e-mail: Kurmanov_NA@enu.kz;

Ибадильдин Н. А. - PhD, доцент, Цифрлық мемлекеттік басқару мектебі, Astana IT University, Астана, Қазақстан, e-mail: ibadildin.nurkhat@astanait.edu.kz;

Каирлиева Г. - э.ғ.к., академиялық профессор, Қазақстан инновациялық телекоммуникациялық жүйелер университеті, Орал, Қазақстан, e-mail: gauhar_04@mail.ru;

Кенешева Ғ. Ә. - PhD, доцент, Қазтұтынуодағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: gizzat@yandex.ru;

Алдабергенов Н.А.- постдокторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: aport777@list.ru;

Вэй Фэн - PhD докторы, профессор, экономика және менеджмент колледжінің профессоры, A&F Солтүстік Батыс университеті, Синьян, Қытай Халық Республикасы, e-mail: weifeng@nwafu.edu.cn.

Information about the authors

Kurmanov N. - PhD, professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University,Astana , Kazakhstan, e-mail: Kurmanov_NA@enu.kz;

Ibadildin N. - Ph.D., Associate Professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: ibadildin.nurkhat@astanait.edu.kz;

Kairliyeva G. - c.e.s., Academic Professor., Kazakhstan University of Innovative Telecommunication Systems, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: gauhar_04@mail.ru;

Kenesheva G. - PhD, Associate Professor, Karaganda University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: gizzat@yandex.ru;

Aldabergenov N. - postdoctoral, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aport777@list.ru;

Wei Feng -PhD, professor, Professor at College of Economics and Management, Northwest A & F University, Xinyang, People’ s Republic of China, e-mail: weifeng@nwafu.edu.cn.

МРНТИ: 06.52.01 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1170**

БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

[1]Ш.А. Смагулова, [2]Б.А. Омарова, [2]Г.А. Омарова, [1]А.А. Онласинова, [3]К.О. Шаяхметова

[1]Университет международного бизнеса им. Кенжегали Сагадиева, Алматы, Казахстан,
[2]Международный университет транспорта и гуманитарных наук, Алматы, Казахстан,
[3]«Esil University», Астана, Казахстан

Корреспондент автор: aiya_55555@mail.ru

Актуальность рассматриваемой темы определяется рядом ключевых факторов. Во-первых, это необходимость повышения энергетической безопасности в условиях растущего спроса и внешних рисков. Во-вторых, мировые государства сталкиваются с обязательствами по выполнению международных климатических соглашений по сокращению вредных выбросов. В-третьих, волатильность цен на углеводородное сырье усиливает геополитические вызовы и стимулирует внедрение альтернативных источников энергии.

Цель исследования заключается в проведении библиометрического анализа международных рейтинговых статей в области исследования динамики экономического развития и практического применения возобновляемых источников энергии на основе программы «VOSviewer».

В работе был проведен систематический поиск и отбор публикаций за 5-летний период с 2020 по 2024 гг. с целью анализа и сравнительной оценки состояния и организации альтернативных источников энергии в рамках геополитических вызовов, глобальной экономической неопределённости, инфляции и мировой рецессии. Эмпирическая база исследования основная на материалах научных статей, размещенных на платформе «Scopus».

Библиометрический анализ является полезным инструментом для выявления и систематизации ключевых направлений, авторов, публикаций и организаций, которые вносят значительный вклад в развитие исследований по ВИЭ. С помощью этого анализа возможно не только отследить количественные показатели публикационной активности, но и выявить наиболее актуальные темы и направления исследований, что способствует более эффективному планированию научной деятельности.

В работе рассмотрены публикации, посвященные развитию и применению ВИЭ в разных странах, в том числе и Казахстане. Наибольшее число научных исследований приходится на Китай, Индию, США и Пакистан. Считаем, что повышенный рост статей по избранной тематике в отмеченных государствах можно объяснить мерами господдержки, активным притоком инвестиций, внедрением новых цифровых технологий и инноваций в сфере развития альтернативных вариантов энергии.

В рамках осуществленной работы, можно обоснованно утверждать, что наукометрический анализ рейтинговых журналов и цитирований позволяет выявить степень взаимодействия и коммуникаций научных школ и ученых в области формирования экономического развития ВИЭ разных государств.

Ключевые слова: библиометрический анализ, экономическое развитие, возобновляемые источники энергии, альтернативная энергетика, наукометрия, Скопус

THE BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF ECONOMIC STUDIES OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

[1]Sh.A. Smagulova, [2]B.A. Omarova, [2]G.A. Omarova, [1]A.A. Onlassinova, [3]K.O. Shayakhmetova

[1]Kenzhegali Sagadiev University of International Business, Almaty, Kazakhstan,
[2]International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan,
[3]«Esil University», Astana, Kazakhstan,
e-mail: aiya_55555@mail.ru

The relevance of the topic under consideration is determined by a number of key factors. Firstly, it is the need to improve energy security in the context of growing demand and external risks. Secondly, world states are faced with obligations to implement international climate agreements to reduce harmful emissions. Thirdly, the volatility of hydrocarbon prices increases geopolitical challenges and stimulates the introduction of alternative energy sources.

The purpose of the study is to conduct a bibliometric analysis of international rating articles in the field of research into the dynamics of economic development and the practical application of renewable energy sources based on the «VOSviewer» program.

The work conducted a systematic search and selection of publications for a 5-year period from 2020 to 2024 in order to analyze and comparatively assess the state and organization of alternative energy sources in the context of geopolitical challenges, global economic uncertainty, inflation and global recession. The empirical basis of the study is based on the materials of scientific articles posted on the «Scopus» platform. Bibliometric analysis is a useful tool for identifying and systematizing key areas, authors, publications and organizations that make a significant contribution to the development of research on renewable energy sources. With the help of this analysis, it is possible not only to track quantitative indicators of publication activity, but also to identify the most relevant topics and areas of research, which contributes to more effective planning of scientific activities.

The paper examines publications on the development and application of renewable energy sources in different countries, including Kazakhstan. The largest number of scientific studies falls on China, India, the USA and Pakistan. We believe that the increased growth of articles on the selected topic in the noted countries can be explained by government support measures, an active influx of investments, the introduction of new digital technologies and innovations in the field of development of alternative energy options.

As part of the work carried out, it can be reasonably argued that the scientometric analysis of rating journals and citations allows us to identify the degree of interaction and communication of scientific schools and scientists in the field of formation of economic development of renewable energy sources in different countries.

Keywords: bibliometric analysis, economic development, renewable energy sources, alternative energy, scientometrics, Scopus

ЖАҢБАЛАТЫН ЭНЕРГИЯ КӨЗІНІҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУІНЕ БИБЛИОМЕТРИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

[1]Ш.А. Смагулова, [2]Б.А. Омарова, [2]Г.А. Омарова, [1]А.А. Онласинова✉, [3]К.О. Шаяхметова

[1] Кенжеғали Сағадиев атындағы Халықаралық бизнес университеті, Алматы, Қазақстан,
[2] Халықаралық көлік және гуманитарлық ғылымдар университеті, Алматы, Қазақстан,
[3] «Esil University», Астана, Қазақстан,
e-mail: aiya_55555@mail.ru

Қарастырылатын тақырыптың өзектілігі бірқатар негізгі факторлармен анықталады. Біріншіден, бұл өсіп келе жатқан сұраныс пен сыртқы тәуекелдер жағдайында энергетикалық қауіпсіздікті жақсарту қажеттілігі. Екіншіден, әлем мемлекеттерінің алдында зиянды шығарындыларды азайту үшін халықаралық климаттық келісімдерді орындау міндеттері тұр. Үшіншіден, көмірсутегі бағасының құбылмалылығы геосаяси қиындықтарды арттырады және баламалы энергия көздерін енгізуді ынталандырады.

Зерттеудің мақсаты – «VOSviewer» бағдарламасы негізінде экономиканың даму динамикасын және жаңартылатын энергия көздерін тәжірибеде қолдануды зерттеу саласындағы халықаралық рейтингтік мақалаларға библиометриялық талдау жүргізу.

Жұмыс барысында геосаяси сын-қатерлер, жаһандық экономикалық белгісіздік, инфляция және жаһандық рецессия жағдайында баламалы энергия көздерінің жай-күйі мен ұйымдастырылуын талдау және салыстырмалы түрде бағалау мақсатында 2020-2024 жылдар аралығындағы 5 жылдық кезеңге жүйелі іздеу және жарияланымдарды іріктеу жүргізілді. Зерттеудің эмпирикалық негізі «Scopus» платформасында орналастырылған ғылыми мақалалар материалдарына негізделген. Библиометриялық талдау жаңартылатын энергия көздері бойынша зерттеулерді дамытуға елеулі үлес қосатын негізгі бағыттарды, авторларды, басылымдарды және ұйымдарды анықтау және жүйелеу үшін пайдалы құрал болып табылады. Осы талдаудың көмегімен басылым қызметінің сандық көрсеткіштерін қадағалап қана қоймай, сонымен қатар ғылыми қызметті тиімдірек жоспарлауға ықпал ететін ең өзекті тақырыптар мен зерттеу бағыттарын анықтауға болады.

Жұмыста әртүрлі елдерде, соның ішінде Қазақстанда жаңартылатын энергия көздерін дамыту және қолдану бойынша жарияланымдар қарастырылады. Ғылыми зерттеулердің ең көп саны Қытай, Үндістан, АҚШ және Пәкістанға тиесілі. Белгіленген елдерде таңдалған тақырып бойынша мақалалардың өсуін мемлекеттік қолдау шараларымен, инвестициялардың белсенді ағынымен, жаңа цифрлық технологияларды енгізумен және баламалы энергия мүмкіндіктерін дамыту саласындағы инновациялармен түсіндіруге болады деп есептейміз.

Жүргізілген жұмыстардың бір бөлігі ретінде рейтингтік журналдар мен дәйексөздердің ғылыми-метрикалық талдауы әртүрлі елдердегі жаңартылатын энергия көздерінің экономикалық дамуын қалыптастыру саласындағы ғылыми мектептер мен ғалымдардың өзара әрекеттестігі мен байланысының дәрежесін анықтауға мүмкіндік береді деп орынды дәлелдеуге болады.

Түйін сөздер: библиометриялық талдау, экономикалық даму, жаңартылатын энергия көздері, баламалы энергия, ғылымиметрия, Scopus

Введение. Восстановление экономической активности после пандемии COVID-19 спровоцировало рост цен на нефть и газ в 2021-2022 гг. Цены на нефть достаточно выросли во 2-ой половине 2021 г., достигнув пика в августе 2022 г. - около 70 дол. США. На наш взгляд, также причиной послужило уменьшение поставок газа из РФ в результате геополитических напряжений и санкций, связанных с войной в Украине [1], что усилило энергетическую неопределенность.

Резкий рост цен на газ в 2021-2022 гг. стал стимулом для ускорения перехода к ВИЭ. Европейские страны активизировали вложения в солнечную и ветровую энергетику, что снизило зависимость от ископаемого топлива и повысило национальную энергетическую безопасность. Энергетический кризис 2022 г. вызвал значительное ускорение перехода на ВИЭ. Европейская комиссия представила план «REPowerEU», который рассматривает активное внедрение локальных ВИЭ-проектов. Развитие возобновляемых источников энергии способствует снижению энергетической зависимости от стран - поставщиков традиционных энергетических ресурсов, тем самым ослабляя их рычаг давления на энергобезопасность государства [2].

Правительства многих стран усилили политику поддержки ВИЭ, что ускорило их внедрение. Это привело к значительному увеличению цен на энергоносители. В мире широко используется практика государственного регулирования и субсидирование ВИЭ, торговля углеродными квотами, тарифные реформы и энергетической интеграции с соседними странами. Данные меры позволяют быстрому и эффективному внедрению ВИЭ как альтернативу традиционной энергии. В частности, в странах ОЭСР, Азии и Африки (Omri, Jabeur, 2024) рассматриваются как обязательные стимулирующие меры - углеродный налог, квоты, стандарты, субсидии, льготы, госзаказы [3].

Выделим, с 2019 по 2024 гг. стоимость производства энергии из комплекса солнечных панелей снизилась на 50%, что связано с улучшением технологий и увеличением масштабов производства. К примеру, по данным IEA, 96% новых про-

ектов по ВИЭ в 2023 г. оказались дешевле, чем проекты на ископаемом топливе [4]. Например, в Германии объемы солнечных электростанций увеличились на 20% [5].

Последние несколько лет для общего использования альтернативных источников энергии регулярно внедряются цифровые технологии. Они позволяют улучшить координацию сетевой нагрузки (Kuzmin, Vlasov et al., 2024), включая управление ветровыми и солнечными станциями в режиме реального времени [6]. Вместе с тем, по мнению Campana et al. (2025), взаимодействие цифровизации и роста возобновляемой энергетики в виде инновационных технологий «IoT», «блокчейн», «цифровые двойники» - способствуют развитию ВИЭ [7].

Интеграция возобновляемых источников энергии сопряжена с рядом трудностей. Одна из ключевых проблем заключается в устаревшей структуре электросетей, которая изначально не была рассчитана на переменный характер генерации ВИЭ. Это повышает риски сбоев и нестабильности в энергосистеме. Для устранения подобных угроз требуется масштабная модернизация энергетической инфраструктуры [8].

Имеет место серьезное недофинансирование инфраструктуры и энергосистем в целом в мировой экономике. Сегодня инвестиции далеко отстают от требуемых уровней даже при рекордных темпах расширения рынка ВИЭ. Серьезным вызовом (Zhou, 2024) в настоящее время представляется недостаточная развитость механизмов хранения энергии и необходимость создания условий для конкурентоспособности ВИЭ на рынке [9]. Вместе с тем, ограниченная инновационная база остаётся одной из ключевых проблем развития ВИЭ. Особенно это касается слабо развитых систем накопления энергии, которые необходимы для балансировки переменной генерации [10]. Кроме того, недостаточная автоматизация процессов обслуживания снижает надёжность и управляемость объектов. Всё это в совокупности негативно сказывается на экономической и технической эффективности возобновляемых источников энергии.

В этой связи, нами было принято решение провести библиометрический анализ, чтобы определить место и роль развития возобновляемых источников энергии в научной литературе в мировой экономике и в Казахстане.

Литературный обзор. Несмотря на значительное внимание к проблематике формирования энергетики и представительное число научных публикаций, энергосектор требует исследований в области альтернатив потребления энергии. Труды исследователей в области энергетического сектора и ВИЭ позволяют понять аспекты устойчивого развития энергетических систем, подходы к разработке энергетической безопасности, перспективы альтернативных источников.

В последние десятилетия энергетический сектор (Igliński и др., 2024) переживает масштабную трансформацию, связанную с сокращением доли, и с переходом от традиционных ископаемых источников к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ). Страны мира переходят к низкоуглеродной экономике, что выражается в определенном повышении доли ВИЭ в системе энергобаланса, развитии водородных технологий и систем хранения энергии [11]. Этот процесс обусловлен рядом факторов по мнению Stambouli и др. (2024), включая принятые требования снижения выбросов парниковых газов, экономическую эффективность новых технологий и стремление к энергобезопасности [12].

Mohseni и группа ученых (2022) провели исследования об интегрированных инвестициях в ВИЭ и энергетический сектор [13]. Они показали взаимосвязь между инвестициями и развитием данного энергосектора. В статье Jaiswal (2024) и работах ряда других учёных подчёркивается очевидная долгосрочная потребность в более чистых источниках энергии. Распределённые и возобновляемые источники энергии включают такие ресурсы, как: ветер, солнечная энергия, водород и геотермальные системы. Они рассматриваются как ключевые инструменты для укрепления экономической стабильности и повышения социальной устойчивости [14]. В работе Saranga и соавторов (2024) рассматривается

роль ВИЭ в энергетическом секторе [15]. Особое внимание уделяется необходимости трансформации существующих методов потребления ресурсов и подходов к выращиванию сельскохозяйственных культур в аграрной отрасли.

В исследовании Bennagi и др. (2024) представлен всесторонний анализ использования новых технологий в ВИЭ [16]. Он посвящен возможностям использования современных информационно-коммуникационных технологий. Эти технологии рассматриваются в контексте трансформации на возобновляемые источники энергии. Они выполняют важную роль в создании интеллектуальных энергетических систем и современных технологических направлений. Особое внимание уделяется применению искусственного интеллекта - как инструмента для оптимизации управления энергопотоками. Кроме того, рассматриваются перспективы использования инновационных коммуникационных решений в контексте цифровой трансформации энергетики. Государственная поддержка возобновляемых источников энергии играет ключевую роль в их развитии на глобальном уровне. Различные страны применяют разнообразные механизмы и стратегии для стимулирования внедрения ВИЭ, об этом в своей статье пишут турецкие исследователи Kılıç и Kekezoğlu (2022) [17].

Инфраструктура представляет ключевую роль в эффективном внедрении и масштабировании возобновляемых источников энергии. Она играет ключевую роль в эффективной интеграции ВИЭ в существующие энергетические системы. Её развитие способствует снижению издержек на производство и передачу энергии. Кроме того, модернизированная инфраструктура повышает надёжность и устойчивость энергоснабжения, что, особенно, важно в условиях растущей доли ВИЭ в энергобалансе. Развитие этого сектора невозможно без модернизации электросетей. Важность развитой инфраструктуры рассматривается в исследованиях Li и соавторов (2024) в статье о планирование инфраструктуры возобновляемой энергии [18].

Немаловажную роль играют системы хранения энергии, технологии управления и интеграция ВИЭ. Исследователи Tomar и Pradhan (2024) в своей работе рассматривают последние разработки в области систем охлаждения и методов хранения в рамках применения солнечной энергии [19]. По прогнозам, глобальная доля возобновляемой энергии возрастет с 14% в 2018 г. до 74% к 2050 г. Это требует восьмикратного увеличения ежегодного прироста энергомощности. Сегодня важными типами возобновляемой энергии остаются - солнечная, ветровая, гидроэнергия, геотермальная энергия и биомасса. Стоимость технологий солнечной и ветровой энергии (Sheline и др., 2024) снизилась за последние годы, что сделало их более доступными, особенно в странах с низким и средним доходом, где ожидается основной рост спроса на энергию в будущем [20].

В последние годы правительство Казахстана активно развивает подотрасль ВИЭ, внедряя законодательные и экономические стимулы для привлечения инвестиций. В частности, с 2019 по 2024 гг. мощность ВИЭ в стране значительно выросла за счет строительства солнечных и ветровых электростанций. Этот вопрос актуален и в других странах. Так, группа ученых из Китая (Zhang и др., 2024) изучали вопрос государственной поддержки развития ВИЭ [21]. Развитие международных проектов положительно бы повлияло на инфраструктуру ВИЭ в Казахстане. Исследование в данных проектах по объединению электросетей Казахстан-Китай-Республика Корея рассматривал Lei и группа авторов (2022) [22]. Рост и продвижение проектов электроэнергетического сектора, а в, особенности, ВИЭ влияет на экономический рост Казахстана. В статье Smagulova и других авторов (2024) анализируется экономическое развития страны, где основным фактором оказывается высокий темп развития отечественной энергетики [23].

Материалы и методы. Для проведения данного исследования были использованы следующие методы:

- проведен библиометрический анализ - количественный подход к оценке научной информации, основанный на оценке публикационной

активности, степени рейтинга журналов, индекса цитирования и соавторства за последние 5 лет. Для визуализации научных связей и кластеров использовалось программное обеспечение «VOSviewer», широко применяемое в мировой научной аналитике. Также была применена стратегия систематического обзора литературы, что обеспечило репрезентативность и обоснованность выборки;

- аналитико-обзорная оценка, которая была представлена в виде систематического обзора зарубежного и отечественного опыта по развитию ВИЭ и электроэнергетического сектора, анализа научной литературы в области эффективного внедрения ВИЭ на национальном и глобальном уровнях, а также использование инновационных технологий и процессов цифровой трансформации в энергетике;

- эмпирическая и сравнительная оценка. Применялся сравнительный анализ публикаций в журналах с высоким цитированием, направленным на оценку роста цен на энергетические ресурсы, внедрение альтернативных источников энергии, привлечение инвестиций в энергосектор.

В настоящее время магистральным научным подходом в мире для оценки сетей по метаданным статей представляется программа «VOSviewer». Указанная программа позволяет достаточно углубленно анализировать библиографические источники из разных баз данных. Алгоритм программы содержит математический аппарат «Теории графов». В частности, речь идет о библиометрических картах, которые дают возможность наглядно и в удобном виде отобразить необходимую информацию. Обычно избранные объекты отображаются неравномерно на картах. При этом, чем меньшее расстояние между объектами, тем сильнее связь между направлениями изучаемых «ключевых слов».

Переработка требуемой информации в программе «VOSviewer» основана на определенном алгоритме (рисунок 1).

Отметим, в «Теории графов» - граф содержит отношения между 2-я определенными множествами:

$$\text{Граф } G(V, E) \tag{1}$$

где V – финальное множество, т.е. вершина графа («ключевое слово»),

$E \subseteq V \times V$ – множество нескольких вершин графа (u, v), или ребра.



Рис.1 - Алгоритм отбора информации для обработки в программе «VOSviewer»

Примечание: составлено на основе источника [24].

В данном исследовании основной акцент сделан на использовании приоритетных направлений наукометрии с помощью методики: отбор, оценка и визуализация различных сетей в рамках опубликованных статей. К примеру, в этих сетях выступают рейтинговые журналы, авторитетные ученые и пр. В этой связи, нами было проанализировано некоторое количество публикаций и цитирований, чтобы определить влиятельность исследований в области возобновляемых источников энергии в мире, а также на территории РК. Площадкой для проведения библиометрического анализа послужила база данных «Scopus». Здесь важно понимать, что «Scopus» включает наибольшее количество изданий, чем, к примеру, «Web of Science» (WOS), «Springer Nature» и др.

В целом, приведенная методика позволила провести анализ состояния и организации исследуемого направления и предоставить объективное представление о его развитии. В результате определенных критериев отбора и поиска было идентифицировано 269 публикаций, посвященных изучению динамики развития и практического применения возобновляемых источников энергии.

Результаты и обсуждение. Срок охвата библиометрического анализа статей в период 2020-2024гг. на платформе «Scopus» обусловлен рядом значимых глобальных и региональных факторов, оказавших влияние на развитие рассматриваемого сектора ВИЭ.

Во-первых, в 2020–2022 гг. мировая экономика столкнулась с последствиями пандемии COVID-19, что вызвало пересмотр энергетических стратегий и акцентированием внимания государства на устойчивость и децентрализацию энергоснабжения в мировой экономике.

Во-вторых, в феврале 2022 г. началась военная операция России на территории Украины, в результате чего были введены масштабные антироссийские санкции. Это привело к резкому росту цен на газ и нефть, что, в свою очередь, активизировало интерес к альтернативным источникам энергии как инструменту обеспечения энергетической безопасности.

В-третьих, экономическая рецессия в большинстве стран мира на основе геополитической неопределенности, инфляции, повышения издержек производства, роста цен на энергоносители, введение новой администрацией США таможенных пошлин и тарифов.

Таким образом, выбранный период охватывает этапы глобальной перестройки энергетических приоритетов, что делает анализ научной активности по тематике ВИЭ за выбранный срок - особенно важным.

Данное исследование в рамках библиометрического поиска с помощью программы «VosViewer» с целью поиска публикаций по избранной теме началось по следующим ключевым словам: «устойчивое развитие», «общая энергетика», «альтернативная энергетика», «ВИЭ», «энергия ветра и солнца», «зеленая экономика».

Укажем, что использование правильных ключевых слов помогает быстро находить релевантные статьи в научной базе данных «Scopus». Анализ частоты и динамики появления ключевых слов позволяет определить актуальные направления исследований, оценить уровень интереса к определённым темам и возможность предсказать дальнейшее развитие науки. Здесь, «Ключевые слова» являются важнейшим инструментом для поиска, анализа и структурирования научной информации. Их грамотное использование позволяет повысить эффективность исследований и определить перспективные направления научной деятельности.

Общее количество статей, найденных по данным ключевым словам, составило 416 единиц. Для улучшения качества отчетности, мы сузили поиск по следующим критериям: только статьи, опубликованные на английском языке, стадия публикации – «Final». Наш поиск сократился до 269 статей.

Следующий этап поиска – «экспорт файлов». Для этого мы отбираем все публикации и экспортируем, выбирая поиск «RIS» или «CSV». Это значит, что все файлы загружаются в компьютер в папку “загрузки”. Здесь загрузится файл под

названием “scopus.ris” или “scopus.csv”.

В настоящее время возобновляемые источники энергии занимают центральное место в мировой энергетической политике, что обусловлено рядом факторов экологического, экономического и социального характера. Стремление к устойчивому развитию, декарбонизации экономики и снижению зависимости от ископаемого топлива делает ВИЭ ключевым компонентом глобальной энергетической стратегии. Востребованность исследуемой темы мы можем заметить по рис.2, на котором показан библиометрический анализ публикаций, по «Ключевым словам» с помощью программы «VOSviewer».

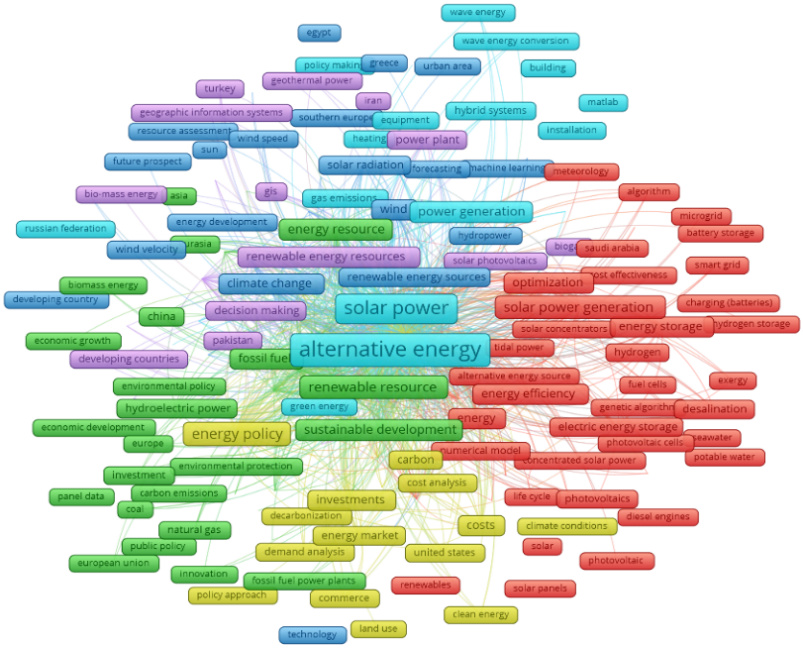


Рис.2 - Ключевые слова, связанные с развитием и применением ВИЭ

Примечание: Составлено авторами на основе программного обеспечения «VOSviewer»

На рисунке 2 представлена взаимосвязь «Ключевых слов», используемых авторами в исследованиях по возобновляемым источникам энергии, которая была визуализирована с помощью программного обеспечения «Vosviewer». На своеобразной карте, показанной на рисунке 2, каждый цвет «Ключевых слов» и терминов, извлеченных из содержания публикаций, расположены по критерию, насколько часто они вместе упоминаются.

Метод графического картирования здесь основан на «Матрице подобия». То есть на карте цвет и размер дает нам возможность проследить силу связей, кластеризацию и уровень релевантности научных статей. Другими словами, это так называемые тематические кластеры, которые определяет сама программа. Это позволило нам выявить основные направления и темы в этой области, проводимых в различных странах, на основании данных из научной базы «Scopus». Далее с целью определения рейтинга журналов и степени цитирования (H индекс) в программе «Vosviewer» используется «коэффициент взаимной коллаборации» (K). Он рассчитывается из матрицы с помощью суммирования симметричных элементов, т.е. количества цитирований на основе формулы:

$$k = 2 \sum_{i,j}^{0.5N(N-1)} \left| \frac{c_{ij}^{\sum}}{\alpha N(N-1)} \right| \qquad (2)$$

где, $c_{ij}^{\sum}$- сумма цитирований,

N – число журналов на платформе «Scopus».

В таблице 1 показаны журналы в базе «Scopus», проанализированные программой «VOSviewer».

Таблица 1 - Рейтинг журналов по статьям на тему «ВИЭ» в базе «Scopus», 2024

№	Название журнала	SJR (2024)	H индекс	IF (2024)	Квартиль
1	«Nature Energy»	17.599	259	60,1	Q1
2	«Energy Environmental Science»	10.529	466	30,8	Q1
3	«Advanced Energy Materials»	8.378	355	25,86	Q1
4	«Renewable and Sustainable Energy Reviews»	3.901	464	20.3	Q1
5	«IEEE Transactions on Sustainable Energy»	4.261	179	12.36	Q1
6	«Energy Conversion and Management»	2.659	274	12.42	Q1
7	«Applied Energy»	2.902	292	11.45	Q1
8	«Renewable Energy»	2,08	232	8.63	Q1
9	«Energy»	2,211	274	9.0	Q1
Примечание – выполнено авторами на основе «VOSviewer»					

Из данных таблицы 1 можно увидеть, что самый авторитетный журнал в сфере ВИЭ - «Nature Energy», а самый высокий уровень цитируемости - «Energy & Environmental Science». Определение наиболее влиятельных журналов помогает классифицировать рейтинг и качество представленных статей по избранной теме. Данная таблица представляет анализ ведущих научных журналов, индексируемых в базе «Scopus», по тематике возобновляемой энергетики и устойчивого развития. Ниже приведено содержание каждого показателя и значимость самих журналов.

«SJR» (SCImago Journal Rank) - показатель авторитетности журнала, учитывающий не только количество цитат, но и вес цитирующего источника. Выделим, чем выше SJR, тем престижнее журнал.

«H индекс» - индикатор научного влияния, т.е. число публикаций (h), процитированных как минимум h раз.

«IF» (Impact Factor) – среднее число цитирований статей, опубликованных за последние 2 года.

Деление журналов составляется по уровню – на квартили от Q1 до Q4. Например: Q1 - 75,1-100% (самые лучшие журналы в избранной категории), Q2 - 50,1-75%, Q3 - 25,1-50%, Q4 - 0,1-25% (самый низкий уровень журнала).

Для того, чтобы в «VOSviewer» осуществить отбор необходимой информации с платформы «Scopus», используется «Парсинг сайтов». Этот парсинг позволяет эффективно и автоматически реализовать процесс обработки данных. Другими словами, «Парсинг» – это программа, которая проводит синтаксический анализ данных на сайтах в сети Интернета для исследований. Первоначально в процессе «Парсинга» идет поиск кода «html – страницы» для извлечения требуемых данных. В зависимости от заданных критериев начинается отбор информации. Здесь, в частности, с целью поиска изданий в сфере «ВИЭ» в базе «Scopus» происходит оценка кода страницы и темы публикации. Далее начи-

нается конвертация данных и сбор полученных данных для сохранения финального результата. Следовательно, с помощью «Парсинга» можно увидеть ход моделирования по отбору научных статей, который продемонстрирован на рисунке 3.

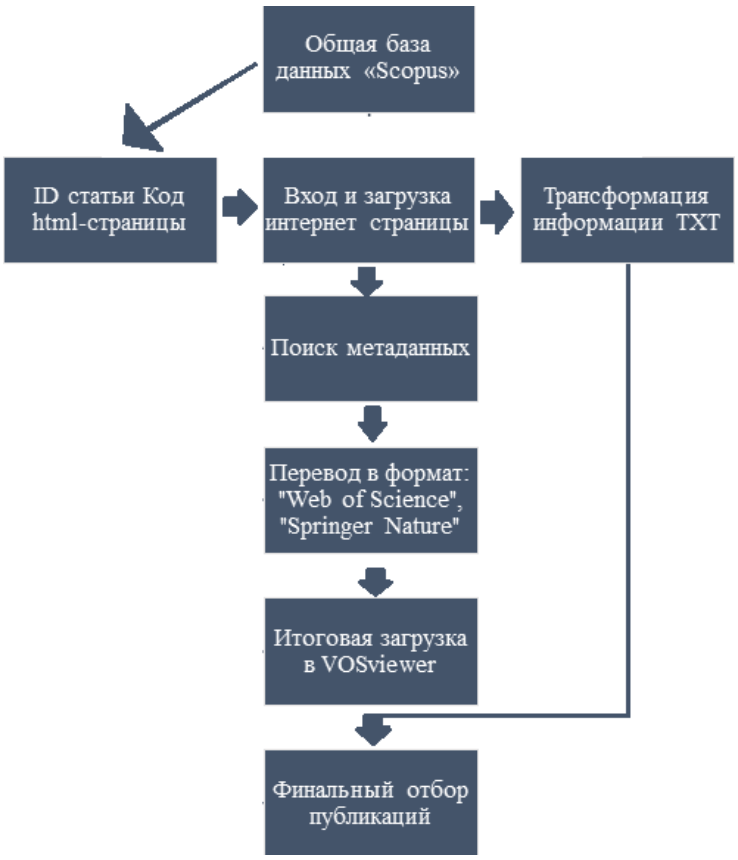


Рис.3 - Схема сбора данных с базы данных «Scopus»
Примечание: составлено на основе источника [24].

Таблица 2 - Авторы и названия статей с высоким цитированием, 2020-2024

№	Авторы и год	Тема по ВИЭ	Наименование Журнала	Число Цитиро-ваний
1	A.J. Hahn Menacho et al., 2022	«A triple bottom line assessment of concentrated solar power generation in China and Europe 2020–2050»	«Renewable Sustainable Energy Reviews	150
2	Qusay Hassan, 2023	«A comprehensive review of international renewable energy growth (2010–2022) »	«Renewable Sustainable Energy Reviews»	120
3	A.G. Olabi, Mohammad Ali Abdelkareem, 2022	«Renewable energy and climate change»	«Renewable Sustainable Energy Reviews»	110

4	Hamed H. Pourasl, Reza Vatankhah Barenji, Vahid M. Khojastehnezhad, 2023	«Solar energy status in the world: A comprehensive review»	«Renewable Sustainable Energy Reviews»	90
5	M.A. Russo et al., 2022	«A review on the impacts of climate change on renewable energy»	«Renewable Sustainable Energy Reviews»	85
6	George E. Halkos, Eleni-Christina Gkampoura, 2020	«Reviewing usage, potentials, and limitations of renewable energy»	«Energies (MDPI) »	80
Примечание: выполнено авторами на основе «VOSviewer»				

В таблице 2 можно увидеть публикацию статей и ФИО авторов с высоким цитированием по развитию ВИЭ в мировой экономике.

В таблице 2 показана подборка статей по теме развития ВИЭ в мировой экономике. Они опубликованы в ведущих журналах и обладают высоким уровнем цитируемости за последние 5 лет. В статьях отражены фундаментальные исследования, анализирующие технологические решения для хранения энергии, критичные для стабильности систем, основанных на ВИЭ. Здесь же рассмотрено как государственное регулирование влияет на масштабы внедрения солнечных решений в экономике разных стран.

На рис.4 показана динамика исследуемых работ по базе данных платформы «Scopus».

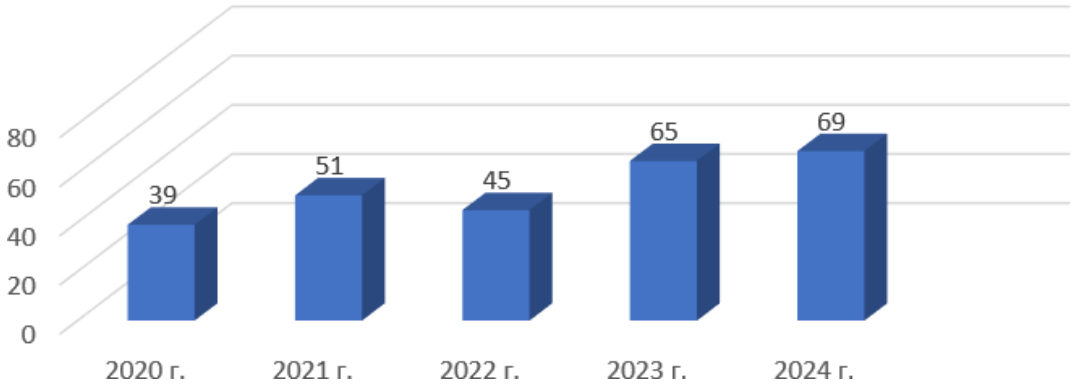


Рис.4 - Публикации по тематике ВИЭ, 2020-2024

Примечание: составлено авторами на основе программного обеспечения «VOSviewer»

На рисунке 4 мы видим, что анализ базы данных «Scopus» за исследуемый период обнаружил всего 269 статей, что демонстрирует явно недостаточное количество публикаций по теме исследования. К примеру, в 2020 г. было выпущено – 39 работ. Затем исследования по данной тематике постепенно увеличивались, и максимальное количество публикаций о развитии и применении ВИЭ пришлось на 2024 г., что составило - 69 статей.

Определённый рост опубликованных работ, с нашей точки зрения, связан с увеличением спроса на возобновляемые источники энергии, поэтому весь мир движется в этом направлении. Количество публикаций варьировалось, что может быть связано с различными экономическими явлениями. В частности, в 2020 г. (39 публикаций)

мировая экономика переживала кризис, вызванный пандемией COVID-19. Замедление экономического роста и снижение инвестиций негативно повлияло на развитие ВИЭ. Многие проекты были приостановлены из-за проблем с логистикой, нехватки компонентов и ограниченного финансирования.

Некоторый период восстановления начался в 2021 г. (51 публикация): постепенно врачами всего мира начался процесс поиска борьбы с Ковидом. Были разработаны вакцины, протоколы лечения и найдены лекарства по борьбе с пандемией. Многие страны стали снимать карантин и перешли к вводу «зеленых» стимулов для поддержки экономики. Далее, это привело к росту интереса к ВИЭ и количества исследований.

Определённое снижение количества исследований в 2022 году (45 публикаций), по нашему мнению, можно объяснить несколькими факторами. Энергетический кризис в Европе из-за геополитической нестабильности, война на Украине, рост цен на нефть и газ - привели к временной переориентации на традиционные источники энергии. Повышение цен на энергоносители увеличили операционные расходы для компаний, что могло временно снизить инвестиции в исследования ВИЭ.

В 2023 г. произошел резкий рост интереса к ВИЭ (65 публикаций). Мы предполагаем на это повлияло ряд причин. Например, ускорение процесса энергетического перехода в Европе и Азии. Произошла активизация инвестиций в «зеленые» технологии (солнечную, ветровую и водородную энергетику. В пост пандемийный период восстановилось развитие новых технологий, таких как: системы хранения энергии и интеллектуальные сети.

Наибольшее количество научных публикаций, посвящённых возобновляемым источникам энергии, в ходе проведенного нами исследования, было зафиксировано в 2024 г. - 69 статей. Данный факт свидетельствует о возрастающем интересе научного сообщества к данной тематике. Это связано с новыми государственными программами, развитием инновационных технологий хранения энергии, ростом международных инвестиций и цифровизацией энергосектора.

За последние годы цены на нефть, газ и уголь демонстрировали значительные колебания, обусловленные различными экономическими, геополитическими и рыночными факторами (таблица 3). Пандемия COVID-19 и восстановление мировой экономики повлияло на цену энергоносителей. К примеру, в 2020 г. спрос на нефть резко сократился из-за локдаунов и ограничений в передвижении, что привело к обвалу цен. Постепенно в 2021 г. мировая экономика начала восстанавливаться, возрос спрос на топливо, а добыча не успевала за восстановлением спроса, что привело к повышению цен до $70 за баррель.

Таблица 3 - Рост цен на нефть и уголь за 2014-2025 гг.

№	Годы	Наименование/ Цены в $		
		Нефть (баррель)	Газ ($м^3$)	Уголь (тонна)
1	2014	98395	4,37	82
2	2015	52,32	2,63	58
3	2016	43,55	2,52	66
4	2017	54,13	2,99	88
5	2018	70,83	3,12	105
6	2019	64	2,52	76
7	2020	43,33	1,99	75

8	2021	70,83	3,84	100
9	2022	98,99	6,38	150
10	2023	82,32	2,53	120
11	2024	79,91	2,15	110
12	2025	70	3,2	115
Примечание: Составлено авторами на основе [25]				

Военный конфликт на Украине и введение санкций против России в 2022 г. привели к сокращению поставок российской нефти на мировой рынок. Дефицит предложения вызвал резкий скачок цен, достигнув пика $98,99 за баррель в 2022 г.

Международная организация «ОПЕК» несколько раз принимала решения о сокращении добычи нефти, чтобы поддерживать высокие цены. Это удерживало цены на нефть выше $80–90 за баррель в 2023 г. Увеличение инфляции и затрат на логистику сделало производство нефти дороже, что также способствовало росту цен. Передовые экономики «Китая» и «Индии» - увеличили импорт нефти, что в реальности поддерживало спрос на высоком уровне, несмотря на замедление экономики в других странах.

По данным рис.5 мы можем наблюдать какие страны за анализируемый период лидировали по публикациям о развитии и применении ВИЭ.

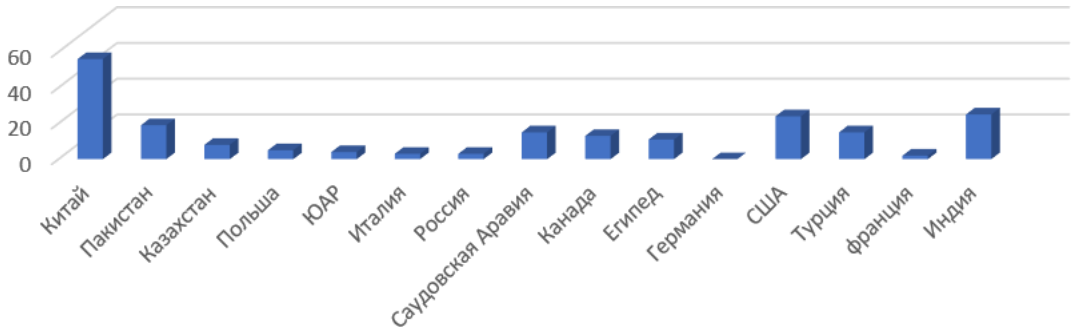


Рис.5 – Рейтинг публикаций по странам, 2020-2024

Примечание: Составлено авторами на основе программного обеспечения «VOSviewer»

Данные рис.5 нам показывают активность публикаций за период 2020-2024 гг. Страны-лидеры по количеству публикаций в базе данных «Scopus» по исследуемой теме возглавляет Китай с 56 научными работами. Следом идут Индия (25 публикаций), США (24), Пакистан (19), Турция и Саудовская Аравия (по 15), Канада (13), Германия и Египет (по 11 публикаций) и др. Стоит подчеркнуть, что Казахстан за анализируемый период опубликовал 8 статей.

Китай стал мировым лидером в развитии ВИЭ, особенно, в солнечной и ветровой энергетике. К примеру, в 2023 г. Китай обеспечивал около 60% нового глобального потенциала ВИЭ [4]. США ведущая экономика мира с активным развитием ВИЭ и большими исследованиями в области аккумуляторных технологий, ветряной и солнечной энергетики. Пакистан и Индия также показывают высокий уровень публикаций, что объясняется быстрым экономическим ростом, энергетическими кризисами и необходимостью диверсификации источников энергии. Канада, Германия и Египет ведут активные исследования в области ВИЭ, что связано с политическими целями по снижению выбросов углерода и переходу на устойчивые источники энергии. Саудовская Аравия, ЮАР име-

ют достаточно низкий уровень активности публикаций. Это связано с высокой зависимостью от традиционной энергетики (нефти, газа, угля) и меньшим фокусом на ВИЭ в научных исследованиях. Франция и Италия традиционно опираются на ядерную энергетику, что может объяснять меньший интерес к ВИЭ.

Подчеркнем, что программа «VOSviewer», к тому же, характеризует наличие определенных пробелов по теме исследования. Так, библиометрический анализ показал пока еще незначительное участие казахстанских исследовательских организаций и ведущих авторов, которые активно развивают представленное направление в сфере ВИЭ. Например, Казахстан занимает еще пока слабую публикационную позицию, несмотря на внедрение политики устойчивого развития, государственной поддержке ВИЭ и привлечению иностранных инвесторов. Роль государственной поддержки и притока инвестиций в альтернативные источники энергии прямым образом оказывают влияние на экологизацию мировой экономики и Казахстана. В исследовании Smagulova и Nurgaliuly (2025) рассматривается влияние инвестиций на восстановление изношенных основных производственных фондов, особенно, в сфере энергетики Казахстана [26].

Наша республика, обладая ресурсозависимой экономикой, стремится сократить зависимость от экспорта ископаемого топлива, что обусловливает растущий интерес к вопросам энергетической безопасности, энергоэффективности и альтернативным источникам энергии. Повышение энергетической эффективности рассматривается как важное условие снижения энергозатратности экономики и повышения конкурентоспособности промышленного сектора.

По результатам анализа, 2024 год стал самым продуктивным для исследователей РК, что объясняется ростом государственной поддержки и увеличением интереса к ВИЭ среди научного сообщества. Данные подтверждают возрастание актуальности исследований по возобновляемой энергетики. Считаем, это связано с глобальными усилиями по борьбе с изменением климата и переходом к устойчивому энергопотреблению.

Взаимосвязь таких понятий, как «энергетическая политика», «осведомленность», «инвестиции» и «устойчивое развитие», отражает влияние государственной политики, образовательных инициатив и экономических трансформаций на формирование научной и общественной повестки в области ВИЭ. Развитие технологий в сфере солнечной и ветровой энергетики стимулируется притоком иностранных инвестиций, государственными субсидиями и налоговыми льготами. Поэтому, это способствует расширению практики использования потенциала новых объектов ВИЭ. Значительный ветровой и солнечный потенциал страны, а также необходимость оптимального использования природных ресурсов обусловливают приоритетное внимание к ВИЭ в научных исследованиях, ориентированных на энергетические потребности Казахстана.

Итак, сегодня электричество становится доступнее во всех странах мира, а энергопотребление представляется более рациональным. Так, в ООН в 2015г. были представлены глобальные Цели устойчивого развития (ЦУР) на 2016-2030 гг. Здесь основное содержание ЦУР предполагает достижение доступа к недорогим, устойчивым и надежным, источникам энергии для всего мира. Отметим, постепенно мир идет по пути прогресса, например, в достижении цели 7. Речь идет о решении вопросов по достижению структурной энергобедности в условиях активного развития технологий [27].

Энергетический сектор является одним из ключевых элементов экономики, а ВИЭ -это одна из его составляющих всего мира. Развитие ВИЭ является одним из ключевых факторов обеспечения устойчивого экономического развития и повышения благосостояния населения глобальной экономики. Диверсификация источников энергии – это не просто модный тренд, а жизненная необходимость, инвестиции в образование и научные исследования – вот ключ к развитию альтернативных источников энергии.

По мнению Musango (2024), очевидно, что библиометрический анализ научных статей, позволяет увидеть уровень и качество передовых

исследований, посвященных развитию и внедрению возобновляемых источников энергии [28]. Сегодня отмечается взаимосвязь между экономическим развитие страны и энергопотреблением. Так, рост экономики стимулирует повышение спроса на энергию, а доступ к энергии представляется важным фактором экономического роста. Несколько исследований подтверждают эту взаимосвязь. В частности, Lu и другие соавторы (2024) [29] показывают, что существует долгосрочная связь между потреблением энергии и уровнем ВВП. Они обосновывают тесную связь между экономическим ростом и потреблением энергии на основе создания нового набора индексов энергопотребления (ECI) для прогнозирования темпов роста ВВП.

Организация и продвижение объектов возобновляемых источников энергии в Казахстане является приоритетным направлением государственной энергетической политики, направленной на обеспечение устойчивого развития и снижение углеродного следа. Страна обладает значительным потенциалом в области солнечной, ветровой и гидроэнергетики, что создает благоприятные условия для внедрения ВИЭ.

Энергетика, в том числе ВИЭ представляются жизненно важным фактором для экономического роста всех стран. Она используется для питания всех отраслей экономики: от сельского хозяйства и промышленности до транспорта и услуг. Потребление энергии напрямую связано с уровнем жизни населения и играет важную роль в развитии страны. Это подтверждается многочисленными исследованиями на уровне реализации библиометрического подхода. Внедрение альтернативных источников непосредственно включается в «ноу-хау» и энергоэффективности энергокомплекса, переработке энергоресурсов и внедрения чистых технологий.

Вместе с тем, связь искусственного интеллекта и выпуска возобновляемой энергии рассматривается в статье Rasheed (2024), которая демонстрирует влияние цифровых технологий, уровня экономического роста и добычи природных ресурсов на количество выработки возобновляемой энергии [30].

Введение торговых пошлин с конца 2024г. и в течении 2025 г. и ограничительных торговых мер со стороны США оказывают значительное влияние на глобальные экономические процессы. По нашему мнению, эти меры способствуют усилению геоэкономической напряжённости, нарушению логистических цепочек и перераспределению потоков энергетических ресурсов. Это, в свою очередь, отражается на уровне цен на нефть и природный газ.

Повышение волатильности на мировом энергетическом рынке, особенно, в периоды нестабильности, ведёт к росту издержек в традиционном топливно-энергетическом секторе. Это стимулирует государства активнее инвестировать в развитие ВИЭ как более предсказуемой, доступной и экологически устойчивой альтернативы. Итак, нестабильность и непредсказуемость цен на ископаемые энергоресурсы становятся одним из ключевых драйверов ускоренного перехода к ВИЭ на глобальном уровне.

Очевидно, использование новых технологий, модернизация оборудования и разработка инновационных решений в области энергетики требуют значительных финансовых ресурсов. Инвестиции способствуют увеличению мощности возобновляемых источников энергии, сокращению выбросов углерода и повышению общей устойчивости энергетической системы. Raghutla и Kolati (2023) предложили вклад инвестиций в государственно-частное партнерство в энергетическом секторе с целью увеличения производства возобновляемой энергии и защиты экологической целостности [31]. С нашей точки зрения, тенденция развития ВИЭ предполагает, что постепенно страны будут переходить на этот тип энергии, сохраняя устойчивую окружающую среду, и тем самым обеспечивая эффективность использования альтернативной энергии.

Проведенная в данной работе библиометрическая оценка продемонстрировала, что рост публикационной активности может ограничиваться рядом следующих факторов. Среди них недостаточное финансирование мировых научных исследований и ограниченные международные

связи. Кроме того, в отдельных крупных университетах наблюдается смещение акцента в сторону образовательной деятельности и невысокие требования к публикациям.

Следовательно, несмотря на активное развитие сектора, остаются значительные вызовы. Так, в Казахстане, несмотря на его огромный потенциал в области ВИЭ, наблюдается недостаток инвестиций в строительство соответствующей инфраструктуры. Высокая стоимость инноваций и цифровизации объектов ВИЭ требует больших авансовых инвестиций. Отметим, уголь и нефть – основные виды ископаемого топлива, которые широко используются для производства энергии в мире. При их сжигании в атмосферу выбрасываются различные загрязняющие вещества, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. К тому же, использование угля приводит к высоким уровням выбросов CO_2 и других загрязняющих веществ. Отметим, до сих пор угольные и газовые станции остаются основными источниками загрязнения воздуха в Казахстане. Это, на наш взгляд, усиливает экологические проблемы, включая ухудшение качества воздуха. Так, уровень загрязнения окружающей среды на одного казахстанского жителя страны превышает среднемировой показатель более чем в 2,5 раза.

При этом, основная часть вредных выбросов в атмосферу, очевидно, приходится на энергетику. Именно этот казахстанский сектор ответственен за 75% всех выбросов парниковых газов в стране. Правда, Казахстан принял на себя обязательства по сокращению выбросов парниковых газов в рамках Парижского соглашения. Дополнительно также была принята Стратегия достижения углеродной нейтральности до 2060 года. Строительство объектов ВИЭ идет не такими существенными темпами. Поэтому здесь имеются пока только незначительные сдвиги в сторону улучшения.

Выводы. Настоящее исследование представляет собой библиометрический анализ академических публикаций, ориентированных на внедрение и строительство объектов возобновляемых источников энергии в период с 2020 по 2024 гг.

В рамках настоящего исследования был осуществлён анализ 269 научных публикаций. Результаты обработки данных из базы «Scopus» отразили тенденции в развитии и практическом применении возобновляемых источников энергии в мировой экономике за период 2020–2024 гг.

Проведенный библиометрический анализ публикаций позволил получить достаточно емкое представление о динамике и тенденциях исследований в указанной области.

Как показала реализованная литературная оценка в базе данных «Scopus» - развитие и применение возобновляемых источников энергии является активно изучаемой темой во всем мире. В мировом рейтинге по публикации научных статей в рамках изучаемой темы представляются такие страны как: Китай, США, Индия и Турция. Казахстан занимает низкое место в данном рейтинге, несмотря на значительный потенциал для развития возобновляемых источников энергии в стране.

В основной массе публикаций отмечается, что рост цен на нефть и газ, особенно, с 2022г. увеличил экономическую привлекательность ВИЭ, так как они предлагают более стабильные и предсказуемые цены. Регулирование и влияние финансовых и политических факторов способствуют формированию законодательства и политик для перехода на возобновляемую энергетику. В целом, страны и международные организации активно интегрируют ВИЭ в свои стратегии, направленные на достижение экологической и энергетической устойчивости. Развитие возобновляемых источников энергии в Казахстане сопровождается рядом вызовов, схожих с глобальными проблемами в данной сфере. Для обеспечения устойчивого роста сектора ВИЭ требуется модернизация энергетической инфраструктуры с учётом специфики национальной энергосистемы.

В настоящее время необходимость инвестирования в сектор ВИЭ становится не просто желательным, а необходимым. По нашему мнению,

от этого фактора зависит быстрое развитие данного сектора и энергетическая безопасность государства. Развитие возобновляемых источников энергии повлияют на экономическую стабильность и экологическую устойчивость страны.

Также необходима активизация инвестиционной активности и формирование эффективных механизмов интеграции инвестиций в рынок альтернативных источников электроэнергии во всем мире, в том числе и в Казахстане.

Для повышения надежности и эффективности функционирования электроэнергетической системы требуется цифровизация и внедрение ИКТ. Цифровизация трансформирует энергосистемы, повышая их устойчивость и экологичность. К примеру, активно исследуются умные сети (smart grids), интеллектуальное управление потреблением, интеграция и киберфизические системы в сфере ВИЭ. Особое внимание уделяется политическим и нормативным аспектам цифрового перехода. При этом, возникает необходимость международной координации цифровых стандартов в энергетике (Mahmood et al., 2024) для достижения целей устойчивого развития [32]. Инновационные технологии и процессы цифровой трансформации в энергетике формируют важную основу для модернизации подотрасли ВИЭ. На наш взгляд, это соответственно повышает устойчивость энергетических систем к внешним климатическим и техногенным рискам.

Согласно исследованиям Awogbemi et al. (2024), цифровизация и искусственный интеллект не только способствуют достижению ЦУР по доступной и устойчивой энергии, но и ускоряют переход к системам сбалансированного выброса углерода к 2030 г. [33].

В целом, программа «VOSviewer» - это научный метод, который обеспечил сопоставление и визуализацию достаточно сложной интеллектуальной структуры в области развития энергокомплекса глобальной экономики. Таким образом, библиометрический анализ подтверждает, что происходит повышение, значимость научных исследований и устойчивый рост интереса к теме, направленной на изучение и развитие возобновляемых источников энергии в мире.

Литература

1. Natural gas prices, Europe. The Global Economy.com (July, 2025). URL: https://www.theglobaleconomy.com. - Date of address: 02.05.2025.

2. REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green. An official website of the European Union. URL: https://enlargement.ec.europa.eu.- Date of address: 02/05/2025.

3. Omri A., Jabeur S.B. Climate policies and legislation for renewable energy transition: The roles of financial sector and political institutions // Technological Forecasting and Social Change. - 2024. - Vol.203. P.123347. DOI 10.1016/j.techfore.2024.123347.

4. Executive summary - Renewables 2023- Analysis-IEA - [Electronic resource] - URL: https://www.iea.org/reports/renewables-2023/executive-summary. - Date of address: 29.10.2024.

5. Public Net Electricity Generation 2023 in Germany: Renewables Cover the Majority of the Electricity Consumption for the First Time. Fraunhofer ISE - [Electronic resource] - URL: https://www.ise.fraunhofer.de: Date of address: 02.05.2025.

6. Evgeny Kuzmin, Maksim Vlasov, Wadim Strielkowski, Marina Faminskaya. Digitalization of the energy sector in its transition towards renewable energy: A role of ICT and human capital // Energy Strategy Reviews. - 2024. - Vol.53. - P.101418. DOI 10.1016/j.esr.2024.101418

7. Paola Campana, Riccardo Censi, Roberto Ruggieri, Carlo Amendola, A. Smart Grids and Sustainability: The Impact of Digital Technologies on the Energy Transition // Energies. - 2025. - Vol.18(9). - P.2149.

DOI 10.3390/en18092149.

8. EU power grid needs trillion-dollar upgrade to avert Spain-style blackouts. Reuters - [Electronic resource] - URL: https://www.reuters.com: Date of address: 02.05.2025/

9. Yuekuan Zhou. Renewable-storage sizing approaches for centralized and distributed renewable energy-A state-of-the-art review // Journal of Energy Storage.-2024. - Vol.100: 113688. DOI 10.1016/j.est.2024.113688.

10. Sadettin Ergun, Abdullah Dik, Rabah Boukhanouf, Siddig Omer. Large-Scale Renewable Energy Integration: Tackling Technical Obstacles and Exploring Energy Storage Innovations // Sustainability. - 2025. -Vol.17(3). - P.1311. DOI 10.3390/su17031311.

11. Bartłomiej Igliński, Urszula Kiełkowska, Krzysztof Mazurek, Sebsstian Drużyński, MichałB. Pietrzak b, Gopalakrishnan Kumar, Ashokkumar Veeramuthu, Mateusz Skrzatek, Marek Zinecker, Grzegorz Piechota. Renewable energy transition in Europe in the context of renewable energy transition processes in the world. A review // Heliyon. - 2024. - Vol.10:e40997. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e40997.

12. A. Boudghene Stambouli, Y. Kitamura, M.T. Benmessaoud, Noureddine Yassaa. Algeria’ s journey towards a green hydrogen future: Strategies for renewable energy integration and climate commitments // International Journal of Hydrogen Energy. - 2024. - Vol. 58. - P.753-763. DOI 10.1016/j.ijhydene.2024.01.119.

13. Soheil Mohseni, Alan C. Brent, Scott Kelly, Will N. Browne. Demand response-integrated investment and operational planning of renewable and sustainable energy systems considering forecast uncertainties: A systematic review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. - 2022. - Vol.158. - P.112095. DOI 10.1016/j.rser.2022.112095.

14. Krishna Kumar Jaiswal, Chandrama Roy Chowdhury, Deepti Yadav, Ravikant Verma, Swapnamoy Dutta, Km Smriti Jaiswal, SangmeshB, Karthik Selva Kumar Karuppasamy. Renewable and sustainable clean energy development and impact on social, economic, and environmental health // Energy Nexus.-2022.-Vol.7:100118. DOI 10.1016/j.nexus.2022.100118.

15. Haritha Saranga, Satyajit Roy, Sayan Chowdhury. Charting a sustainable future: Transformative policies for India’ s energy, agriculture, and transport sectors // IIMB Management Review.- 2024. - Vol.36. - P.21-38. DOI 10.1016/j.iimb.2024.02.005.

16. Aseel Bennagi, Obaida AlHousrya, Daniel T. Cotfas, Petru A. Cotfas. Comprehensive study of the artificial intelligence applied in renewable energy // Energy Strategy Reviews. - 2024. - Vol.54. - P.101446. DOI 10.1016/j.esr.2024.101446.

17. Uğur Kılıç, Bedri Kekezoğlu. A review of solar photovoltaic incentives and Policy: Selected countries and Turkey // Ain Shams Engineering Journal. -2022.-Vol.1:101669. DOI 10.1016/j.asej.2021.101669.

18. Linfeng Li, Ming Zhong, Xiaofeng Ma, Haowei Zhao, Muhammad Safdar, Dung David Chuwang, Ziran Zhang. Optimal planning of renewable energy infrastructure for ports under multiple design scenarios considering system constraints and growing transport demand // Journal of Cleaner Production. - 2024. - Vol.477. -P.143827. DOI10.1016/j.jclepro.2024.143827.

19. Mahipal Singh Tomar, Rama Chandra Pradhan. Recent developments in solar-powered refrigeration systems and energy storage methods for on-farm preservation of fruits and vegetables // Sustainable Energy Technologies and Assessments.- 2024. - Vol.72: 104032. DOI 10.1016/j.seta.2024.104032.

20. Carolyn Sheline, Fiona Grant, Simone Gelmini, Shane Pratt, Amos G. Winter V., Designing a predictive optimal water and energy irrigation (POWEIr) controller for solar-powered drip irrigation systems in resource-constrained contexts // Applied Energy.2024. - Vol. 377:124107. DOI

10.1016/j.apenergy.2024.124107.

21. Jiawang Zhang, Boyang Li, Haonan He, Yue Shen. Natural resource dependence and renewable energy development: Does government policy support matter? // Journal of Cleaner Production. - 2024. - Vol. 436:140466. DOI 10.1016/j.jclepro.2023.140466.

22. Xiaomeng Lei, Dawei Wang, Wei Wang. The scoping study of Kazakhstan-China-Republic of Korea power interconnection // Global Energy Interconnection. - 2022. - Vol.5. - P.484-500. DOI 10.1016/j.gloei.2022.10.003.

23. Smagulova, Sh., etc. Assessment of the impact of electric power production on the economic growth of Kazakhstan // International Journal of Energy Economics and Policy. – 2024. - Vol.14(4). - P.391-407. DOI 10.32479/ijeep.16036.

24. Sharma, S.N., Singh, D., & Dehalwar, K. Surrogate safety analysis-leveraging advanced technologies for safer roads // Suranaree Journal of Science and Technology. – 2024. - Vol.31(4). - 010320. DOI 10.55766/SUJST-2024-04-E03837.

25. FRED. Global price of Brent Crude - [Electronic resource] - URL: https://fred.stlouisfed.org/series/POILBREUSDA: Date of address: 07.05.2025

26. Smagulova, Sh., Nurgaliuly, A. Economic assessment of energy security of the regions of Kazakhstan // ECONOMICS - Innovative and Economics Research Journal. - 2025. - Vol.13. - P.223-243. DOI 10.2478/eoik-2025-0038.

27. Basic Energy Access Lags Amid Renewable Opportunities, New Report Shows - [Electronic resource] - URL: https://www.worldbank.org: application date: 06.08.2025.

28. Josephine Kaviti Musango. Energy technology assessment in managing sustainable energy transitions: A bibliometric analysis // Sustainable Energy Technologies and Assessments. - 2024. - Vol.72: 104021. DOI 10.1016/j.seta.2024.10402.1

29. Fei Lu, Feng Ma, Shiyang Hu. Does energy consumption play a key role? Re-evaluating the energy consumption-economic growth nexus from GDP growth rates forecasting // Energy Economics. - 2024. - Vol. 129:107268. DOI 10.1016/j.eneco.2023.107268.

30. Rasheed, M. Q., Yuhuan, Z., Ahmed, Z., Haseeb, A., & Saud, S. Information communication technology, economic growth, natural resources, and renewable energy production: Evaluating the asymmetric and symmetric impacts of artificial intelligence in robotics and innovative economies // Journal of Cleaner Production. - 2024. - Vol. 447: 141466. DOI 10.1016/j.jclepro.2024.141466.

31. Chandrashekar Raghutla, Yeliyya Kolati. Public-private partnerships investment in energy as new determinant of renewable energy: The role of political cooperation in China and India // Energy Reports. - 2023. - Vol.10. - P.3092-3101. DOI 10.1016/j.egyr.2023.09.139.

32. Mou Mahmood, Prangon Chowdhury, Rahbaar Yeassin, Mahmudul Hasan, Tanvir Ahmad, Impacts of digitalization on smart grids, renewable energy, and demand response: An updated review of current application // Energy Conversion and Management: X. - 2024. - Vol.24. - P.100790. DOI 10.1016/j.ecmx.2024.100790.

33. Omojola Awogbemi, Daramy Vandi von Kallon, K. Sunil Kumar. Contributions of artificial intelligence and digitization in achieving clean and affordable energy // Intelligent Systems with Applications. - 2024. - Vol.22. - P.200389. DOI 10.1016/j.iswa.2024.200389.

Сведения об авторах

Смагулова Ш.А. - доктор экономических наук, профессор, Университет Международного Бизнеса им. Кенжегали Са-

гадиева, Алматы, Казахстан, e-nail: shsmagulova@mail.ru;

Омарова Б.А. - кандидат экономических наук, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан, e-mail: bota1868@mail.ru;

Омарова Г.А. - кандидат экономических наук, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан, e-mail: Omarovag73@mail.ru;

Онласинова А.А. - Докторант Университета Международного Бизнеса им. Кенжегали Сагадиева, Алматы, Казахстан, e-mail: aiya_55555@mail.ru;

Шаяхметова К.О. - доктор экономических наук, профессор, «Esil University», Астана, Казахстан; e-mail: kulshariya19560102@gmail.com.

Information about the authors

Smagulova Sh.A. - Doctor of Economics, Professor, Kenzhegali Sagadiev University of International Business, Almaty, Kazakhstan,e-mail: shsmagulova@mail.ru;

Omarova B.A. - Candidate of Economic Sciences, International Transport and Humanitarian University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: bota1868@mail.ru;

Omarova G.A. – Candidate of Economic Sciences, International Transport and Humanitarian University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Omarovag73@mail.ru;

Onlassinova A.A - PhD student Kenzhegali Sagadiyev University of International Business, Almaty, Kazakhstan, e- mail: e-mail: aiya_55555@mail.ru;;

Shayakhmetova K.O.- Doctor of Economics, Professor, «Esil University» Astana, Kazakhstan, e-mail: kulshariya19560102@gmail.com.

МРНТИ 06.75.07 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1062**

ТҮРКІСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ КУРОРТТЫҚ АЙМАҚТАРЫНДАҒЫ ТУРИСТІК ҚЫЗМЕТТЕР НАРЫҒЫНА ТАЛДАУ

[1]К.А. Омарова, [1]К.Б. Тукибаева, [1]А.Н. Тәжен, [2]Г.А. Болсынбекова, [1]О.В. Подсухина

[1]Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан,
[2]ББМ Alikhan Bokeikhan University, Семей, Қазақстан

Корреспондент-автор: omarova820204@mail.ru

Бұл зерттеуде Қазақстан Республикасының курорттық аймақтарындағы туристік қызметтер нарығының даму үрдістеріне, әртүрлі кезеңдердегі туристік саланың жай-күйіне талдау жүргізілді, Қазақстан мен жұмыс істейтін өңірлер бойынша тұрғылықты жерлерін жүйелеу, туристер үшін курорттық қызметтердің және курорттық аймақтардағы туристік қызметтердің қажеттілігі.

Мақалада мемлекеттің қолдауының және туристік аймақтардың инфрақұрылымын жақсартудың арқасында туристік ағынның өсуіне әсер ететін курорттық аймақтардың дамуына әсер ететін негізгі факторлар қарастырылды, нарықтың осы сегментін дамыту перспективалары зерделенді, Түркістан облысының курорттық аймақтарының көрсеткіштеріне Қазақстан өңірлері бойынша деректермен салыстырмалы талдау жасалды, курорттық аймақтардың проблемалары қаралды, олардың арасында мыналар анықталды қазіргі заманғы қызметтердің жетіспеушілігі, маркетингтік белсенділіктің төмендігі, халықаралық туристік нарықтарға қолжетімділіктің болмауы, курорттық ұйымдарды жаңғырту, емдеу-сауықтыру туризмінің ұсыныстарын кеңейту қажеттілігі. Зерттеу барысында Қазақстанның туризмі мен экономикасын одан әрі дамыту үшін зор әлеуеті бар, сондай-ақ халықтың өмір сүру сапасын жақсартуға ықпал ететін курорттық аймақтардың даму деңгейін зерделеу кезінде тұтас көзқарас қажеттілігі туралы ұсыныстар берілді.

Түркістан облысының туристік қызметтер нарығын дамыту жағдайы бойынша жүргізілген зерттеу нәтижелері: Түркістан туристік аймағында және Сарыағаш аймағында туризмді дамыту және осы саладағы инфрақұрылымды жақсарту үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: орналастыру орындары, курорттық аймақтар, Түркістан туристік аймағы, Сарыағаш курорттық аймағы, толымдылық, Қазақстан.

АНАЛИЗ ТУРИСТСКИХ УСЛУГ В КУРОРТНЫХ ЗОНАХ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

[1]К.А. Омарова, [1]К.Б. Тукибаева, [1]А.Н. Тажен, [2]Г.А. Болсынбекова, [1]О.В. Подсухина

[1]ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Учреждение образования «Alikhan Bokeikhan University», Семей, Казахстан,
e-mail: omarova820204@mail.ru

В данном исследовании проведен анализ тенденций развития рынка туристских услуг в курортных зонах Республики Казахстан, состояния туристской отрасли в разные периоды, систематизация мест проживания по Казахстану и регионам функционирования, востребованности курортных услуг для туристов и туристских услуг в курортных зонах.

В статье были рассмотрены основные факторы, оказывающие влияние на развитие курортных зон, влияющие на рост туристского потока благодаря поддержке государства и улучшения инфраструктуры туристских зон, изучены перспективы развития данного сегмента рынка, составлен сравнительный анализ показателей курортных зон Туркестанской области с данными по регионам Казахстана, рассмотрены проблемы курортных зон, среди которых выявлены такие, как нехватка современных услуг, низкая маркетинговая активность, отсутствие доступа к международным туристским рынкам, необходимость модернизации курортных организаций, расширение предложений лечебно-оздоровительного туризма. В ходе исследования даны рекомендации о необходимости целостного подхода при изучении уровня развития курортных зон, имеющих огромный

потенциал для дальнейшего развития туризма и экономики Казахстана, а также способствующих улучшению качества жизни населения.

Результаты проведенного исследования по состоянию развития рынка туристских услуг Туркестанской области: в Туристской зоне Туркестан и в Сарыагашской зоне могут быть использованы для развития туризма и улучшения инфраструктуры в данной области.

Ключевые слова: места размещения, курортные зоны, туристская зона Туркестан, Сарыагашская курортная зона, заполняемость, Казахстан.

ANALYSIS OF THE TOURIST SERVICES MARKET IN THE RESORT AREAS OF THE TURKESTAN REGION

[1]K.A. Omarova✉, [2]G.A. Bolsynbekova, [1]A.N. Tazhen, [1]K.B. Tukibayeva, [1]O.V. Podsukhina

[1]L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan,
[2]Educational Institution «Alikhan Bokeikhan University», Semey, Kazakhstan,
e-mail:omarova820204@mail.ru

This study analyzes the trends in the development of the tourist services market in the resort areas of the Republic of Kazakhstan, the state of the tourism industry in different periods, the systematization of places of residence in Kazakhstan and regions of operation, the demand for resort services for tourists and tourist services in resort areas.

The article considered the main factors influencing the development of resort areas, influencing the growth of tourist flow due to government support and improving the infrastructure of tourist areas, studied the prospects for the development of this market segment, compiled a comparative analysis of the indicators of resort areas of the Turkestan region with data on the regions of Kazakhstan, considered the problems of resort areas, among which identified such as lack of modern services, low marketing activity, lack of access to international tourism markets, the need to modernize resort organizations, expand the offers of medical and wellness tourism. The study provides recommendations on the need for a holistic approach when studying the level of development of resort areas that have great potential for the further development of tourism and the economy of Kazakhstan, as well as contributing to improving the quality of life of the population.

The results of the conducted research on the state of development of the tourism services market in the Turkestan region: in the Tourist zone of Turkestan and in the Saryagash zone can be used to develop tourism and improve infrastructure in this area.

Keywords: Locations, resort areas, Tourist area Turkestan, Saryagash resort area, tourists.

Введение. Курортными зонами являются территории, предназначенные для лечебно-оздоровительных и рекреационных целей, имеющие благоприятные условия, находящиеся в специально отведенных экологически чистых местах, с минимальным антропогенным и индустриальным воздействием, наличием особенных природных факторов, включающих минеральные воды, лечебные грязи, мягкий климат, чистый воздух и неповторимые ландшафты. Курортные зоны помимо оздоровительных компонентов, таких как санатории, лечебно-оздоровительные организации, SPA-центры и реабилитационные комплексы, включают и развлекательные компоненты, среди которых гостиницы и рестораны, различные спортивные комплексы и культурные объекты, так как для туристов (посетителей) важно эмоциональное и физическое восстановление.

Санаторно-курортному направлению посвящено множество работ, среди зарубежных авторов можно отметить Сарыбаева Ш. «Курорты Казахстана», 1973 г.

Среди российских авторов можно отметить труды Оранского И.Е. «Природные лечебные

факторы и биологические ритмы», 1988г. Волковой Л.Ф. «Санатории-профилактории», 1987г., Назарова В.Ф. «Военные санатории и дома отдыха», 1984г.

Среди зарубежных авторов по направлению курортологии можно следующих ученых Chenmei Liao, Yifan Zuo, Shaogui Xu, Rob Law, Mu Zhang, Lina Zhong, Baolin Deng, Alastair M. Morrison, J. Andres Coca-Stefaniak, Liyu Yang [1].

Труды данных авторов оказали влияние на развитие курортологии в разных странах.

Курортные зоны имеются практически во всех областях Казахстана, развиты в силу своей популярности по-разному, оказывают влияние на туристический поток и поэтому находятся под особым контролем государства. В результате пандемии COVID-2019, тема курортных зон является актуальной и имеет растущий интерес среди населения.

Объект исследования – курортные зоны.

Цель исследования – анализ развития курортных зон в Туркестанской области и в Казахстане, за период первых полугодий 2020-2024 годов. Исследование представляет важное значение для развития курортных зон, выявляя пробелы в количественных показателях мест размещения в курортных зонах, показывая долю по местам размещения Туркестанской области к республиканским показателям, предлагая рекомендации для повышения конкурентоспособности курортных зон.

Материалы и методы. В данном исследовании информационной основой послужили официальные статистические данные показателей развития мест размещения в курортных зонах, за период первых полугодий 2020 по 2024 годы, включая общее количество мест размещения, количество номеров, количество обслуженных посетителей в курортных зонах Туркестанской области и по Казахстану.

Во время проведения анализа были исследованы 4167 объектов размещения в стране, среди которых 1733 единицы расположены в курортных зонах. По географическому охвату курортных зон Туркестанской области в данный анализ вошли Туристская зона Туркестан и Сарыагашская курортная зона.

Исследование проводилось в 3 этапа: подготовительный, этап анализа и заключительный.

На первом этапе проводился сбор данных по основным показателям туристской отрасли за период с первого полугодия 2020 года по первое полугодие 2024 года, систематизация данных по категориям, изучении тенденции изменений в количестве мест размещения, количества номеров и количества обслуженных посетителей.

На втором этапе проводился анализ динамики изменений, осуществлялось построение рядов ключевых показателей, и проводилось географическое сравнение данных курортных зон Туркестанской области и Казахстана.

На третьем этапе формировались выводы на основе анализа и предлагались рекомендации конкурентоспособности курортных зон Туркестанской области.

В исследовании были применены следующие методы исследования:

- Статистический метод, построение временных рядов и анализа динамики следующих показателей: количество мест размещения, количество номеров, количество обслуженных посетителей.

- Географический анализ, включающий сравнение Туристской зоны Туркестан и Сарыагашской курортной зоны с остальными курортными зонами Казахстана.

- Визуализация данных, построение диаграмм с помощью программы Microsoft Power BI, и таблиц по данным Бюро статистики, для визуального представления изменений показателей за периоды с 2020 по 2024 гг.

Данные методы интеграции количественных данных, дают возможность проследить динамику и выявить причины изменений, учитывая специфику развития и расположения регионов и способствуют разработке рекомендаций развития курортных зон.

Для обработки данных в данном исследовании была использована программа Microsoft

Power BI, обеспечившая визуальный анализ основных показателей туристских услуг в местах размещения курортных зон.

Обсуждение и результаты. К туристским услугам относятся размещение, перевозка, питание, экскурсии, услуги инструкторов туризма, гидов [2].

Лечебно-оздоровительный туризм в курортных зонах рассматривается в двух направлениях: обязательный и факультативный. Обязательным считается, если требуется получение курортно-санаторных услуг с целью лечения, оздоровления, реабилитации; факультативный представляет собой рекреационное, профилактическое [3].

Места размещения в курортных зонах, включают гостиницы, мотели, кемпинги, туристские базы, гостевые дома, дома отдыха, пансионаты, санаторно-курортные организации и другие здания, и сооружения, для проживания и обслуживания туристов (посетителей) [4].

По состоянию на 1 полугодие 2024 года, общее количество мест размещения в Республике Казахстан составило – 4167 единиц, в том числе 5-ти звездочных гостиниц – 24 единицы, 4-х звездочных – 54 единицы, 3-х звездочных – 32 единицы, 2-х звездочных – 4 единицы, гостиниц без категорий – 2167 единиц, прочих мест - 1884 единицы. Таким образом, 52% мест размещения относится к гостиницам без категорий. За рассматриваемый период 4167 мест размещения обслужили - 3997448 посетителей [5].

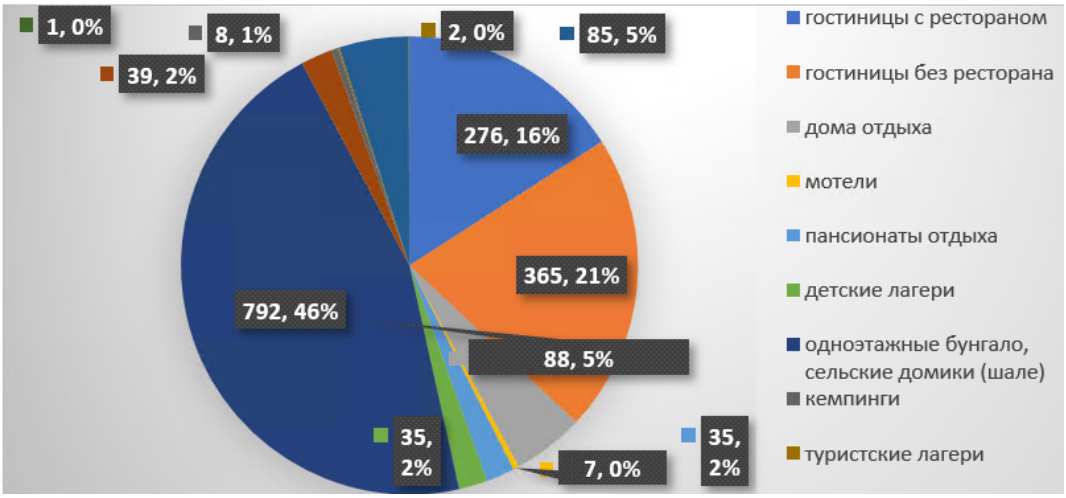


Рис.1 - Показатели мест размещения в курортных зонах по типам на январь-июнь 2024г.
Примечание: Составлено авторами на основе данных [5]

В курортных зонах за первое полугодие количество мест размещения за период первого полугодия 2024 года, составляет 1733 единицы, в том числе 641 единица гостиниц (с рестораном 276 единиц и без ресторана 365 единиц), т.е.37%, домов отдыха – 88 единиц, мотелей 7 единиц, пансионатов отдыха – 35 единиц, детских лагерей – 35 единиц, одноэтажных бунгало, сельских домиков (шале) – 792 единиц, (46%), туристских баз – 39 единиц, кемпингов – 8 единиц, туристских лагерей – 2 единицы, других видов жилья – 85 единиц (69 хостелов), развлекательных городков, охотничьих угодий – 1 единица.

В курортных зонах Казахстана имеются бальнеологические курорты, грязевые курорты, климатические курорты, где проводятся лечебно-оздоровительные процедуры, с комплексными программами восстановления, лечения, оздоровления и профилактики. В курортных зонах Туркестанской области основным направлением является бальнеология [6].

Курортные зоны Туркестанской области обладают рядом преимуществ: длительный период

туристского сезона (с марта по ноябрь), в сравнении с остальными курортными регионами Казахстана, положительно влияет на развитие региона, стабильного потока туристов; природно-климатические условия региона, для посещения туристами в межсезонье, обилие культурного наследия Туркестанского региона с популярными туристскими объектами.

Государство поддерживает развитие региона, продвижение туризма и улучшения инфраструктуры ежегодно увеличивая инвестирование в Туркестанскую область. Рост инвестирования в 2024 году составил 17,7%, в общем на 2024 год было выделено с государственного бюджета 888,5 млрд. тенге, помимо этого была начата реализация 6 инвестиционных проектов с участием иностранного капитала, стоимостью 960 млн. долларов. Благодаря государственной поддержке, Управлению туризма Туркестанской области, АО Национальной компании «Kazakh Tourism», информационным онлайн ресурсам и сайтам занимающимися продвижением туризма в Туркестанской области, улучшилась инфраструктура курортных зон и региона в целом, качество мест размещения и питания, услуг развлечения и досуга, уровня безопасности [7]. Однако для повышения конкурентоспособности мест размещения в регионе, необходимо улучшать транспортную доступность, внедрять АСУ в местах проживания, продолжать модернизацию мест проживания, увеличивать и улучшать качество оказываемых лечебно-оздоровительных процедур и дополнительных услуг.

Курортные зоны Туркестанской области в статистических данных по местам размещения представлены двумя зонами: Туристской зоной Туркестан и Сарыагашской курортной зоной и не имеют мест проживания с категориями (Таблица1).

Таблица 1 - Места размещения Республики Казахстан и курортных зон по категориям на январь-июнь 2024г.

	Всего	**В курортных зонах**	**Туристская зона Туркестан**	**Сарыагашская курортная зона**
Республика Казахстан	4167	1733	65	18
5*	24	10	-	-
4*	54	23		-
3*	32	6		-
2*	4	2		-
1*	2	-		-
Без категорий	2167	600	48	18
Прочие места размещения	1884	1092	17	-
Примечание - Составлено авторами на основе данных [8]				

В курортных зонах Казахстана количество мест размещения составляет 1733 единицы, что составляет внушительную долю 42% от общего количества мест размещения по стране. По республиканским курортным зонам основную долю мест размещения составляют прочие места размещения – 1092 единицы (58%) от общего количества мест размещения и гостиницами без категорий – 600 единиц, (35%). Это связано с дефицитом категорийных гостиниц, и низким спро-

сом на них, т.е. рынок представлен небольшими пансионатами, лечебно-оздоровительными домами, гостевыми домами с небольшим количеством номеров, одноэтажными домиками, с гибкими условиями и доступными ценами, уровень сервиса обычно тоже среднего уровня, что привлекает туристов с ограниченным бюджетом. Однако для международных туристов, туристов с высокими требованиями такие условия проживания не подходят, из-за отсутствия стандартов и низкого качества оказания услуг.

Места размещения в курортных зонах вносят вклад в развитие экономики страны, однако имеются сдерживающие факторы конкурентоспособности, такие как: высокая стоимость путевок в сезон, низкий уровень информированности населения, находящееся на низком уровне внедрение инновационных технологий, отсутствие PR кампаний, низкий уровень сотрудничества с турфирмами и турагентами, организация досуговой деятельности в период нахождения туриста на курорте, качество оказываемых услуг [6].

Места размещения в курортных зоны Туркестанской области составляют – 83 единицы (4,8%) к общему количеству мест размещения в курортных зонах.

Из-за отсутствия гостиниц с категориями в курортных зонах Туркестанской области в дальнейшем мы будем анализировать только места размещения без категорий и прочие места размещения (Таблица 2).

Таблица 2 - Основные показатели мест размещения по Республике Казахстан и курортным зонам Туркестанской области по состоянию на первые полугодия 2020 - 2024гг.

	2020	**2021**	**2022г.**	**2023г.**	**2024г.**
Количество мест размещения, единиц	1447	1506	1620	1600	1733
Среди них:					
Туристская зона Туркестан	27	38	56	58	65
Сарыагашская курортная зона	16	20	21	20	18
Количество номеров, единиц	37819	38603	40820	39939	43006
Среди них:					
Туристская зона Туркестан	534	865	1173	1222	1333
Сарыагашская курортная зона	169	231	235	237	233
Обслужено посетителей, человек	593814	969899	1334386	1646076	1829921
Среди них:					
Туристская зона Туркестан	12915	42566	57407	47191	59248
Сарыагашская курортная зона	3189	6097	7366	11035	12995
Примечание - составлено авторами на основе данных [9], [10], [11], [12], [13].					

В результате анализа Таблицы 2, за последние 5 лет можно отметить положительную динамику роста количества гостиниц в курортных зонах по Казахстану первых полугодий рассматриваемых периодов с 2020 по 2024 гг. По итогам I полугодия 2021 года в сравнении с аналогичным периодом 2020 года количество мест размещений увеличилось на 59 единиц, (4%), в 2022 году - до 1620 единиц, на 114 единиц, (7%). В 2023 году, незначительно сокращается количе-

ство мест размещения, в связи с временным закрытием 20 единиц мест размещения, из-за финансовых трудностей и низкой конкурентоспособности. К первой половине 2024 года снова наблюдается рост, который достигает 1733 единиц, что составляет прирост на 133 единицы (8%). В целом, прирост мест размещения в курортных зонах с первого полугодия 2020 года по первое полугодие 2024 года, составил 286 единиц, (17%), с 1447 до 1733 единиц.

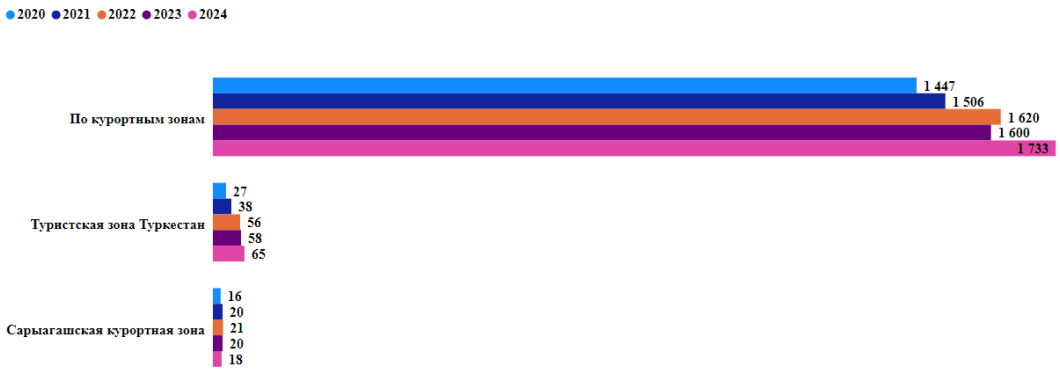


Рис.2 - Количество мест размещения, единиц

Примечание - Составлено авторами с помощью программы Power BI

В Туристской зоне Туркестан рассматриваемого периода первой половины 2020 года по первую половину 2024 года, отмечается положительная динамика роста с 27 единиц до 65 единиц, более чем в 2 раза. В 2021 году прирост составил 11 единиц, (29%), в аналогичный период 2022 года – 18 единиц (32%), в первой половине 2023 - 2 единицы (0,3%), достигший к первому полугодию 2024 года 65 единиц прирост 7 единиц (11%).

По Сарыагашской курортной зоне до 2022 года наблюдался ежегодный рост мест размещения с 16 единиц до 21 единицы, (+24%), но с первого полугодия 2022 года по первое полугодие 2024 года их количество сократилось с 21 до 18 единиц (15%), в динамике наблюдается спад. В целом, за рассматриваемый период с 2020 по 2024 годы прирост мест размещения составил рост с 16 до 18 мест размещения, что составляет 12%.

В отношении общего количества мест размещения, курортных зон Туркестанской области составило в первом полугодии 2020 года 43 мест размещения или 3%, (1,8% Туристская зона Туркестан и 1,2% Сарыагашская курортная зона).

Доля мест проживания в курортных зонах Туркестанской области к первому полугодию 2024 года составила 4,8% (Туристская зона Туркестан 3,8% и Сарыагашская курортная зона 1% соответственно).

С ростом мест размещения, увеличивается и количество номеров в местах размещения.

В первом полугодии 2021 года количество номеров в курортных зонах Казахстана увеличилось с 37819 до 38603 единицы, на 734 единиц (2%), в первом полугодии 2022 года составило 40820 единиц (рост на 2217 единиц, 6%). К первому полугодию 2023 года, количество номеров сократилось до 39939 единиц, на 881 единицу, (2,1%), в связи с сокращением мест размещения на 20 единиц. С первого полугодия 2023 по первое полугодие 2024 года, снова рост номеров в курортных зонах на 3067 единиц, (7,1%). За периоды первых полугодий 2020-2024 гг., рост составил 5187 единиц, (12%), с 37819 достигло 43006 единиц.

В среднем на одно место размещения по показателям республики приходится от 25 до 27 номеров.

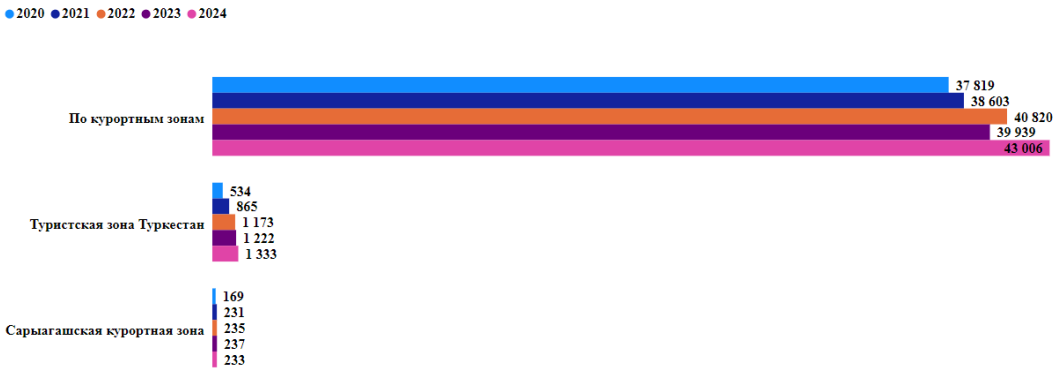


Рис.3 - Количество номеров, единиц

Примечание - Составлено авторами с помощью программы Power BI

Рост количества номеров в Туристской зоне Туркестан с первой половины 2020 по аналогичный период 2024 года составил 799 единиц (60%). В первом полугодии 2021 года количество номеров в Туристской зоне Туркестан выросло на 331 единицу, (38%) в сравнении с 2020 годом, к первому полугодию 2022 года – на 308 единиц (26%), у первому полугодию 2023 года – на 49 единиц (4%), к первому полугодию 2024 года количество номеров достигло 1333 единиц, рост составил 111 единиц (8%). В среднем по Туристской зоне Туркестан на одно место размещения приходится от 19 до 21 номеров.

В Сарыагашской курортной зоне, также наблюдается постепенное увеличение количества номеров в период с первого полугодия 2020 года до первого полугодия 2023 года, достигает 237 единиц, самый большой рост номеров был в первой половине 2020 года по первую половину 2021 год на 62 единицы, (27%). В первой половине 2024 года произошло сокращение на 4 единицы номеров в сравнении с показателями первой половины 2023 года. Анализируя периоды первых полугодий 2020 - 2024 годов по количеству номеров, наблюдается рост на 64 единиц (27%). Среднее количество номеров на одно место размещения составляет 11-13 единиц.

Доля количества номеров в местах размещения в курортной зоне Туркестанской области к страновому показателю к первой половине 2020 года составило 1,9%, (703 единиц), (Туристская зона Туркестан 1,4%, Сарыагашская курортная зона 0,5%), к первой половине 2021 года составляло 2,8%, (1096 единиц), (Туристская зона Туркестан 2,2%, Сарыагашская курортная зона 0,6%), к первой половине 2022 года – 3,4%, (1408 единиц), (Туристская зона Туркестан 2,8%, Сарыагашская курортная зона 0,6%), к первой половине 2023 года - 3,7%, (1459 единиц), (Туристская зона Туркестан 3,1%, Сарыагашская курортная зона 0,6%), к первой половине 2024 года - 3,6%, (1566 единиц), (Туристская зона Туркестан 3,1%, Сарыагашская курортная зона 0,5%). Доля номеров курортных зон Туркестанской области к первой половине 2024 года выросла на 1,7%.

Рост количества посетителей в период с первой половины 2020 года до первой половины 2024 года, составил 1236107 человек (68%), по показателям курортных зон Республики Казахстан и Туркестанской области, что показывает повышение интереса среди населения в посещении курортных зон в целом.

Количество обслуженных посетителей мест размещения в курортных зонах Казахстана и Туркестанской области показывает положительную динамику роста рассматриваемых периодов первой половины 2020 года по первую половину 2024 года.

Рост обслуженных гостей по курортным зонам Казахстана составил 376085 (39%), к первой половине 2022 года - на 364487 человек, (27%), в первой половине 2023 года - 311690 человек, (19%), в первой половине 2024 года - 183845 человек, (10%).

По обслуженным посетителям Туристской зоны Туркестан рост составил 46334 человека (78%) и по Сарыагашской курортной зоне 9806 человека (75%), в целом за рассматриваемый период первой половины 2020 по первую половину 2025 года.

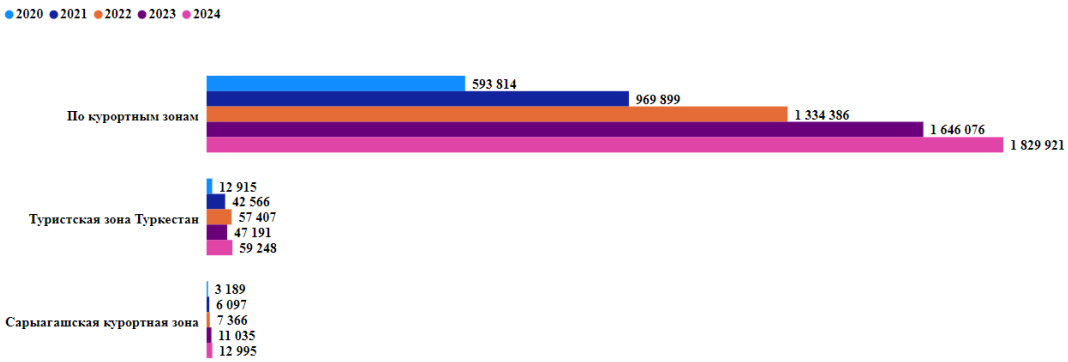


Рис.4 - Обслужено посетителей, человек

Примечание - Составлено авторами с помощью программы Power BI

Туристская зона Туркестан до 2022 года показывала рост посетителей на 44492 посетителя (на 75%), но в первом полугодии 2023 года произошло снижение на 10216 (12%) и в первом полугодии 2024 года снова произошел рост посетителей курортных зон на 12057 (на 20%). В целом, курортные зоны Туркестанской области составили следующую долю от общего количества посетителей курортных зон: в первой половине 2020 года - 16104 посетителя (2,7%), (Туристская зона Туркестан 2,2%, Сарыагашская курортная зона 0,5%), в первой половине 2021 - 48663 человека, (5%), (Туристская зона Туркестан 4,3%, Сарыагашская курортная зона 0,7%), в I половине 2022 года - 64773 человека (4,8%), (Туристская зона Туркестан 4,3%, Сарыагашская курортная зона 0,1%), в первой половине 2023 года - 52226 человек, (3,2%), (Туристская зона Туркестан 2,8%, Сарыагашская курортная зона 0,4%), в I половине 2024 – 72243 человека, (3,9%), (Туристская зона Туркестан 3,2%, Сарыагашская курортная зона 0,7%). Доля обслуженных посетителей курортных зон Туркестанской области за периоды первой половины 2020 года - первой половины 2024 года к общему количеству посетителей курортных зон Казахстана выросла на 1,2%.

Рост обслуженного количества гостей по курортным зонам Туркестанской области составил 56140 посетителей, (22%).

Выводы. На основе проведенного исследования с применением статистических анализов, можно заключить следующее:

- Курортные зоны являются перспективным направлением туризма, занимают свою нишу в туристской отрасли.

- Курортные зоны Туркестанской области имеют свои конкурентные преимущества, среди остальных курортных зон Казахстана, включая особенности климата, культурно-исторических объектов, длительного сезона, свойствам минеральных и термальных вод.

- Количество мест проживания, количество номеров, количество обслуженных посетителей ежегодно растет, что подтверждает растущий интерес среди населения к курортным зонам как, а Туркестанской области, так и казахстанским курортным зонам.

Также данный факт дает возможность предполагать об:

- улучшении социального уровня жизни населения, имеющих возможность посещать курортные зоны,

- изменении предпочтений среди туристов, останавливающихся не у родственников и знако-

мых, а в местах проживания,

- росте интереса и заботы о собственном здоровье.

Для повышения конкурентоспособности в курортных зонах, привлечения турпотока и обеспечения устойчивого роста мест размещения в Туркестанской области (Сарыагашской курортной зоны и Туристской зоны Туркестан) мы предлагаем следующие рекомендации:

- необходимо проводить анализ конкурентов,

- повышать профессиональный уровень работников,

- расширять оказание основных и дополнительных услуг,

- налаживать взаимосотрудничество с турфирмами, турагентами,

- постоянно улучшать уровень сервиса в местах проживания,

- увеличивать количество категорийных гостиниц,

- создавать дифференцированные пакеты, согласно социальному уровню посетителя,

- внедрение современных технологий,

- модернизация зданий, транспортной инфраструктуры,

- обновления оборудований,

- разрабатывать и поддерживать интересные и информационные сайты курортных зон,

- сотрудничать с профсоюзами, применять политику лояльности,

- коллаборация между частными структурами и государством.

Таким образом, рынок туристских услуг курортных зон туркестанской области остается на удовлетворительном уровне, с необходимостью дальнейшего развития.

Вышеупомянутые меры необходимы для повышения конкурентоспособности туристских услуг во всех курортных зонах Казахстана.

Результаты исследования по улучшению инфраструктуры в Туристской зоне Туркестан и Сарыагашской зоне могут быть использованы для развития туризма в данной области.

Литература

1. Омарова К.А., Мусина К.П., Тукибаева К.Б. Лечебно-оздоровительный и медицинский виды туризма: общие и отличительные особенности // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева Экономическая серия. —2025. - № 1. -С.266-267. DOI 10.32523/2789-4320-2025-1-257-275.

2. О туристской деятельности в Республике Казахстан Закон Республики Казахстан от 13 июня 2001 года N 211. URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1023618.-Дата обращения: 16.01.2025.3. Zhong L., Deng B., Morrison M. A., Coca-Stefaniak J. A., Yang L. Medical, Health and Wellness Tourism Research-A Review of the Literature (1970–2020) and Research Agenda // International Journal of Environmental Research and Public Health. - 2021. - Vol. 18(20): 10875 DOI 10.3390/ijerph182010875.

4. Приказ Министра туризма и спорта Республики Казахстан от 11 ноября 2008 года № 01-08/200. Об утверждении Правил классификации мест размещения туристов Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 21 ноября 2008 года № 5367. URL: - Дата обращения: 16.01.2025.

5. Статистика туризма. О деятельности мест размещения в Республике Казахстан Показатели места размещения в курортных зонах по типам на январь-июнь 2024г. - URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-tourism/. - Дата обращения: 16.01.2025.

6. Кизимбаева А., Уразбеков А.К., Булакбай Ж.М. Влияние рынка санаторно-курортных услуг на развитие экономики Казахстана // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. Экономическая серия. - 2024. - № 2. - С.9-26. DOI 10.32523/2789-4320-2024-2-9-26.

7. В этом году в Туркестанскую область привлечено 888,5 млрд тенге инвестиций Служба центральных коммуникаций при Президенте Республики Казахстан 28.11.2024 URL: https://ortcom.kz/ru/novosti/1732779722. -Дата обращения: 25.01.2025.

8. Бюро национальной статистики агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Электронные таблицы. О деятельности мест размещения в Республике Казахстан (январь-декабрь 2023г.). - URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-tourism/spreadsheets/. - Дата обращения: 25.01.2025.

9. Статистика туризма. Электронные таблицы. О деятельности мест размещения в Республике Казахстан (январь-июнь 2020 года). - URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-tourism/spreadsheets/?year=2020&name. - Дата обращения: 25.01.2025.

10. Статистика туризма. Электронные таблицы. О деятельности мест размещения в Республике Казахстан (январь-июнь 2021 года). - URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-tourism/spreadsheets/?year=2021&name. - Дата обращения: 25.01.2025.

11. Статистика туризма. Электронные таблицы. О деятельности мест размещения в Республике Казахстан (Январь-июнь 2022г.). - URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-ourism/spreadsheets/?year=2022&name. - Дата обращения: 25.01.2025.

12. Статистика туризма. Электронные таблицы. О деятельности мест размещения в Республике Казахстан (январь-июнь 2023г.). - URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-tourism/spreadsheets/?year=2023&name. - Дата обращения: 25.01.2025.

13. Статистика туризма. Электронные таблицы. О деятельности мест размещения в Республике Казахстан (январь-июнь 2024г.). - URL: https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-tourism/spreadsheets/?year=2024&name. - Дата обращения: 25.01.2025.

References

1. Omarova K.A., Musina K.P., Tukibaeva K.B. Lechebno-ozdorovitel’ nyj i medicinskij vidy turizma: obshhie i otlichitel’ nye osobennosti // Vestnik ENU im. L.N. Gumileva Jekonomicheskaja serija. -2025. - № 1. -S.266-267. DOI 10.32523/2789-4320-2025-1-257-275.[in Russian]

2. O turistskoj dejatel’ nosti v Respublike Kazahstan Zakon Respubliki Kazahstan ot 13 ijunja 2001 goda N 211. URL: https://online.zakon.kz .- Data obrashhenija: 16.01.2025. [in Russian]

3. Zhong L., Deng B., Morrison M. A., Coca-Stefaniak J. A., Yang L. Medical, Health and Wellness Tourism Research-A Review of the Literature (1970–2020) and Research Agenda // International Journal of Environmental Research and Public Health. - 2021. - Vol. 18(20): 10875 DOI 10.3390/ijerph182010875.

4. Prikaz Ministra turizma i sporta Respubliki Kazahstan ot 11 nojabrja 2008 goda № 01-08/200. Ob utverzhdenii Pravil klassifikacii mest razmeshhenija turistov Zaregistrirovan v Ministerstve justicii Respubliki Kazahstan 21 nojabrja 2008 goda № 5367. URL: https://online.zakon.kz - Data obrashhenija: 16.01.2025. [in Russian]

5. Statistika turizma. O dejatel’ nosti mest razmeshhenija v Respublike Kazahstan Pokazateli mesta razmeshhenija v kurortnyh zonah po tipam na janvar’-ijun’ 2024g. - URL: https://stat.gov.kz. - Data obrashhenija: 16.01.2025. [in Russian]

6. Kizimbaeva A., Urazbekov A.K., Bulakbaj Zh.M. Vlijanie rynka sanatorno-kurortnyh uslug na razvitie jekonomiki Kazahstana // Vestnik ENU im. L.N. Gumileva. Jekonomicheskaja serija. - 2024. - № 2. - S. 9-26. DOI 10.32523/2789-4320-2024-2-9-26. [in Russian]

7. V jetom godu v Turkestanskuju oblast’ privlecheno 888,5 mlrd tenge investicij Sluzhba central’ nyh kommunikacij pri Prezidente Respubliki Kazahstan 28.11.2024 URL: https://ortcom.kz. - Data obrashhenija: 25.01.2025. [in Russian]

8. Bjuro nacional’ noj statistiki agentstva po strategicheskomu planirovaniju i reformam Respubliki Kazahstan. Jelektronnye tablicy. O dejatel’ nosti mest razmeshhenija v Respublike Kazahstan (janvar’-dekabr’ 2023g.). - URL: https://stat.gov.kz. - Data obrashhenija: 25.01.2025. [in Russian]

9. Statistika turizma. Jelektronnye tablicy. O dejatel’ nosti mest razmeshhenija v Respublike Kazahstan (janvar’-ijun’ 2020 goda). - URL: https://stat.gov.kz. - Data obrashhenija: 25.01.2025. [in Russian]

10. Statistika turizma. Jelektronnye tablicy. O dejatel’ nosti mest razmeshhenija v Respublike Kazahstan (janvar’-ijun’ 2021 goda). - URL: https://stat.gov.kz. - Data obrashhenija: 25.01.2025. [in Russian]

11. Statistika turizma. Jelektronnye tablicy. O dejatel’ nosti mest razmeshhenija v Respublike Kazahstan (Janvar’-ijun’ 2022g.). - URL: https://stat.gov.kz. - Data obrashhenija: 25.01.2025. [in Russian]

12. Statistika turizma. Jelektronnye tablicy. O dejatel’ nosti mest razmeshhenija v Respublike Kazahstan (janvar’-ijun’ 2023g.). - URL: https://stat.gov.kz. - Data obrashhenija: 25.01.2025. [in Russian]

13. Statistika turizma. Jelektronnye tablicy. O dejatel’ nosti mest razmeshhenija v Respublike Kazahstan (janvar’-ijun’ 2024g.). - URL: https://stat.gov.kz. - Data obrashhenija: 25.01.2025. [in Russian]

Информация об авторах

Омарова К.А. - докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: omarova820204@mail.ru;

Тукибаева К.Б. - доктор философии (PhD), старший преподаватель, Евразийский национальный университет им/ Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: kuralay_bazarbekkyzy@mail.ru;

Тажен А.Н. - докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: aidanatazhen11@gmail.com;

Болсынбекова Г. А. - доктор философии (PhD), старший, Учреждение образования «Alikhan Bokeikhan University», Семей, Казахстан, e-mail: bolsynbekovag@mail.ru;

Подсухина О.В. - магистр наук в туризме, старший преподаватель, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: podsuhina.olga@mail.ru.

Information about authors

Omarova K.A. - doctoral student, L.N.Gumilyov ENU University, Astana, Kazakhstan, e-mail: omarova820204@mail.ru;

Tukibayeva K.B. – PhD, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kuralay_bazarbekkyzy@mail.ru;

Tazhen A.N. - doctoral student, L.N.Gumilyov ENU University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aidanatazhen11@gmail.com;

Bolsynbekova G. A. -doctor of philosophy (PhD), senior lecturer, Educational Institution «Alikhan Bokeikhan University», Semey, Kazakhstan, e-mail: bolsynbekovag@mail.ru;

Podsukhina O.V. – Master of Science in Tourism, Senior Lecturer L.N.Gumilyov ENU University, Astana, Kazakhstan, e-mail: podsuhina.olga@mail.ru.

ҒТАМР 06.39.31 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-1179**

КРЕАТИВТІ ИНДУСТРИЯ САЛАСЫНДА КӘСІПКЕРЛІК ҚЫЗМЕТТІ МЕМЛЕКЕТТІК РЕТТЕУГЕ ТАЛДАУ

[1]Н.Д. Есмагулова, [2]Р.А. Исмаилова, [2]Н.А. Ибадильдин, [1]А.М. Акижанова, [3]А.Б. Темирова, [4]А.Б. Асанова

[1]Еуразия ұлттық университеті Л.Н. Гумилев, Астана, Қазақстан,
[2]Astana IT University, Астана, Қазақстан,
[3]Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан,
[4]Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан
Корреспондент-автор: bolat39@mail.ru

Мақалада креативті индустрия саладағы кәсіпкерлік субъектілерін мемлекеттік реттеудің ерекшеліктері қарастырылады. Креативті индустрия заманауи экономикалардағы тұрақты экономикалық өсудің маңызды саласына айналуда. Зерттеудің мақсаты – Қазақстандағы мемлекеттік қолдаудың қолданыстағы тетіктерін талдау, институционалдық кедергілерді анықтау және шетелдік тәжірибені ескере отырып, реттеуді жетілдіру бойынша ұсыныстарды қалыптастыру. Осы саладағы мемлекеттік саясатты жетілдіру бойынша ұсыныстар ұсынылды. Жұмыста креативті индустрия салалардағы мемлекеттік саясаттың негізгі бағыттары жинақталған, Ұлыбритания, Оңтүстік Корея, Эстония және Ресейдегі халықаралық тәжірибеге салыстырмалы құқықтық талдау жасалған. Киноиндустрияны қолдауға бағытталған Қазақстанның қолданыстағы нормативтік құжаттарына ерекше назар аударылады. Қолданыстағы тәсілдердің жүйесіздігі, халықтың хабардарлығының төмендігі, цифрлық инфрақұрылымның әлсіздігі және мемлекеттік бағдарламалардың мерзімінен бұрын тоқтатылуы мәселелері анықталды. Талдау негізінде осы саладағы институционалдық, қаржылық және білім беру саясатын жетілдіру бойынша шаралар кешені ұсынылады. Мақала нормативтік дереккөздерге, ресми статистикалық мәліметтерге, сондай-ақ отандық және шетелдік зерттеушілердің ғылыми жарияланымдарына негізделген. Авторлар инфрақұрылымды, цифрландыруды және адами капиталды дамытуды қоса алғанда, креативті индустрия кәсіпкерлікті қолдауда бөлшектенген реттеуден стратегиялық жоспарлауға көшу қажеттігін атап көрсетеді.

Түйін сөздер: мемлекеттік реттеу, креативті индустрия, кәсіпкерлік, нормативтік-құқықтық база, инновациялық экономика, инвестициялық қолдау.

АНАЛИЗ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СУБЪЕКТОВ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В СФЕРЕ КРЕАТИВНОЙ ИНДУСТРИИ

[1]Н.Д. Есмагулова, [2]Р.А. Исмаилова, [2]Н.А. Ибадильдин, [1]А.М. Акижанова, [3]А.Б. Темирова, [4]А.Б. Асанова

[1]Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,
[2]Astana IT University, Астана, Казахстан,
[3]Кызылординский университет имени Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан,
[4]КазНУ им Аль- Фараби, Алматы, Казахстан,
e-mail:bolat39@mail.ru

В статье рассматриваются особенности государственного регулирования деятельности субъектов предпринимательства в сфере креативной индустрии. Креативная индустрия становится важным направлением устойчивого экономического роста в современных экономиках. Целью исследования является анализ действующих механизмов государственной поддержки в Казахстане, выявление институциональных барьеров и формулирование предложений по совершенствованию регулирования с учетом зарубежного опыта. Предложены рекомендации по совершенствованию государственной политики в данной области. В работе обобщены ключевые направления государственной политики в сфере креативных индустрий, проведен сравнительно-правовой анализ меж-

дународных практик Великобритании, Южной Кореи, Эстонии и России. Отдельное внимание уделено действующим нормативным документам Казахстана, направленных на поддержку киноиндустрии. Выявлены проблемы несистемности существующих подходов, низкой информированности населения, слабой цифровой инфраструктуры и преждевременного завершения госпрограмм. На основе анализа предложен комплекс мер по совершенствованию институциональной, финансовой и образовательной политики в данной сфере. Статья базируется на нормативно-правовых источниках, официальной статистике, а также научных публикациях отечественных и зарубежных исследователей. Авторы подчеркивают необходимость перехода от фрагментарного регулирования к стратегическому планированию в поддержке креативного предпринимательства, включая развитие инфраструктуры, цифровизации и человеческого капитала.

Ключевые слова: государственное регулирование, креативная индустрия, предпринимательство, нормативно-правовая база, инновационная экономика, инвестиционная поддержка.

ANALYSIS OF STATE REGULATION OF BUSINESS ENTITIES IN THE CREATIVE INDUSTRY

[1]N.D. Esmagulova, [2]R.A. Ismailova, [2]N.A. Ibadildin, [1]A.M. Akizhanova, [3]A.B. Temirova, [4]A.B. Asanova

[1]L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
[2]Astana IT University, Astana, Kazakhstan,
[3]Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan,
[4]Al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: bolat39@mail.ru

The article considers the features of state regulation of business entities in the creative industry. The creative industry is becoming an important area of sustainable economic growth in modern economies. The purpose of the study is to analyze the existing mechanisms of state support in Kazakhstan, identify institutional barriers and formulate proposals to improve regulation, taking into account foreign experience. Recommendations for improving state policy in this area are proposed. The work summarizes the key areas of state policy in the creative industries, provides a comparative legal analysis of international practices in the UK, South Korea, Estonia and Russia. Special attention is paid to the current regulatory documents of Kazakhstan aimed at supporting the film industry. The problems of the unsystematic nature of existing approaches, low public awareness, weak digital infrastructure and premature termination of state programs are identified. Based on the analysis, a set of measures is proposed to improve institutional, financial and educational policies in this area. The article is based on regulatory sources, official statistics, as well as scientific publications of domestic and foreign researchers. The authors emphasize the need to move from fragmented regulation to strategic planning in supporting creative entrepreneurship, including the development of infrastructure, digitalization and human capital.

Keywords: government regulation, creative industry, entrepreneurship, regulatory framework, innovative economy, investment support.

Кіріспе. Креативті индустрия зияткерлік және мәдени ресурстарға негізделген, экономиканың болашағы зор бағыттарының бірі. Бұл саладағы кәсіпкерлік дәстүрлі өндіріс процесінен гөрі идеялар, контент, визуалды бейнелер мен цифрлық өнімдер сияқты материалдық емес активтерді құруға бағытталған. Мұндай бизнес түрлерінің ерекшелігі – жоғары құбылмалылық, фриланс пен жобалық жұмыс сияқты стандартты емес жұмыспен қамту түрлері және институционалдық қорғаудың әлсіздігі. Соңғы жылдары креативті индустрия экономикалық өсудің, жұмыс орындарын құрудың және мәдени бірегейлікті қалыптастырудың маңызды қозғаушы күшіне айналып келеді. Цифрландыру мен жаһандану жағдайында дәл осы креативті сектор экономикалық дағдарыстарға төзімділік, икемділік және жылдам даму қабілетін көрсетіп отыр және инновациялық даму мен білім экономикасын қалыптастырудың маңызды элементі ретінде қа-

растырылады. Цифрлық экономикаға көшу жағдайында креативті секторды мемлекеттік реттеу ерекше мәнге ие. Алайда Қазақстан Республикасында бұл саладағы кәсіпкерлерді қолдау тәсілдері әлі де бөлшектенген жүйелі емес сипатта қалып отыр. Қазақстан үшін IT-индустрия – цифрлық экономиканың жаңа даму бағыты. Тек 2023 жылы ғана Қазақстан Республикасының Үкіметінің қаулысымен IT және геймдевелопментті қамтитын креативті индустрия салаларының тізімі ресми түрде бекітілді [1].

Цифрлық трансформация тұжырымдамасында атап көрсетілгендей, бәсекеге қабілетті АКТ саласын қалыптастыру үшін мемлекет осы саладағы кәсіпкерлікке қолайлы экожүйе құруға күш салады [2].

Келесі статистикалық деректерді келтіруге болады: 2000–2024 жылдар аралығында Қазақстанның ЖІӨ-дегі креативті индустрия үлесі шамамен 3% деңгейінде тұрақты сақталып отыр. Елімізде ең қарқынды дамып келе жатқан креативті қызмет түрлеріне «веб-порталдар мен ақпарат агенттіктері», «мәдени-көркем іс-шаралар мен артистік қызмет», «дизайн, фотосурет және аударма қызметтері», сондай-ақ «кино және телебағдарламалар» жатады [3].

Қазіргі кезеңде зияткерлік капитал – білім мен инновацияға негізделген болашақ экономикасын қалыптастырудың басты бағытына айналып отыр. Алдағы уақытта елдер тиімді, зияткерлік және креативті қауымдастықтарды құруға басымдық береді [4].

Геймификация кросс-мәдени дизайнды дамытудағы маңызды стратегия ретінде қарастырылады. Ойын элементтерін қолдану арқылы белгілі бір өңірдің мәдени дәстүрлерін келешек ұрпаққа жеткізуге мүмкіндік туындайды [5].

IT-индустрия креативті экономиканың бір бөлігі ретінде соңғы он жылда әлем бойынша, соның ішінде Қазақстанда да белсенді дамып келеді. Мысалы, Беларусь елінде IT-компаниялардың айтарлықтай өсуі мемлекет тарапынан көрсетілген қолдаудың – салықтық жеңілдіктер мен институционалдық шаралардың арқасында мүмкін болды. Ақпараттық салаға тұрақты инвестициялар инновацияларды енгізуге және жалпы экономикалық прогреске берік негіз қалыптастыруда [6].

Қазақстан Республикасы бұл бағыттың дамуына қызығушылық танытып отырғанымен, креативті кәсіпкерлерді мемлекеттік реттеу мен қолдау жүйесі әлі де бөлшектенген және жүйесіз сипатта. Осы саладағы мемлекеттік реттеуді жетілдіру қажеттігі зерттеу тақырыбының өзектілігін айқындайды.

Осы мақаланың мақсаты – Қазақстандағы креативті индустрия саласындағы кәсіпкерлік субъектілерін мемлекеттік реттеу жүйесіне талдау жүргізу, негізгі институционалдық кедергілерді анықтау және халықаралық тәжірибе мен ұлттық ерекшеліктерді ескере отырып, реттеуді жетілдіру бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Материалдар мен әдістер. Креативті индустрия субъектілері дәстүрлі бизнес өкілдерінен бірнеше ерекшеліктерімен сипатталады. Бұл индустрияның басты ресурсы – материалдық емес активтер, яғни физикалық өндірістік қуаттылықтан гөрі зияткерлік меншікке негізделген. Қазақстан Республикасында креативті секторды институционаландыру бойынша бірқатар шаралар қабылдануда.2023 жылы креативті индустрия субъектілерін жеке кәсіпкерлік субъектілерінің құрамына енгізу критерийлері [1] мен креативті экономикалық қызмет түрлерінің тізімі [7] бекітілді. Бұл құжаттар аталған саланы мақсатты түрде реттеуге құқықтық негіз қалыптастырады. Креативті бизнестің басым бөлігі уақытша командалар немесе жеке фриланс негізінде ұйымдастырылған. Бұл секторда өзін-өзі жұмыспен қамтығандардың үлесі жоғары, бұл мемлекеттік құрылымдармен өзара іс-қимылда қиындықтар туғызады. Сонымен қатар, бұл сала икемділігімен, бейімделгіштігімен және сұраныс, трендтер мен технологиялардағы өзгерістерге жедел жауап беру қабілетімен ерекшеленеді.

Қазіргі уақытта қаржыландыру мен қолдаудың стандартты механизмдеріне қолжетімділік деңгейі төмен екені байқалады. Бұл ерекшеліктер реттеу тәсілдерін қайта қарауды қажет етеді, өйткені дәстүрлі бизнеске арналған қолдау

құралдары көбіне шағын, стандартталмаған креативті бастамаларға тиімді әсер ете алмайды.

Цифрлық технологиялардың дамуы креативті экономиканың өсуіне қуатты катализатор болды. Онлайн платформалар, әлеуметтік желілер, стримингтік қызметтер мен электрондық сауда алаңдары шығармашылықты ақшалай табыс көзіне айналдырудың жаңа арналарына жол ашты. Олар физикалық қатысуды қажет етпестен, жаһандық аудиторияға қол жеткізуді қамтамасыз етті. Бұл креативті кәсіпкерлер үшін жаңа мүмкіндіктер ашты, алайда сонымен қатар бәсекелестік, авторлық құқықты қорғау және цифрлық сауаттылық сияқты жаңа мәселелер туындатты.

Жедел цифрлану жағдайында мемлекет креативті саладағы қатынастарды реттеуші ғана емес, сонымен қатар серіктес ретінде де әрекет етуі тиіс — бұл шығармашылық бастамалардың өсуіне, тәжірибеге және дамуына қолайлы жағдайлар жасау дегенді білдіреді.

Зерттеудің әдіснамалық негізі жүйелік, салыстырмалы-құқықтық және институционалдық әдістерден, сондай-ақ құқықтық, экономикалық және басқарушылық аспектілерді біріктіретін пәнаралық талдау қағидаттарынан тұрады. Осы материалды жазу барысында креативті экономиканың дамуы және оны мемлекеттік реттеу тетіктеріне арналған отандық және шетелдік зерттеушілердің жарияланымдары, нормативтік құқықтық актілер мен ресми статистикалық деректер қарастырылды.

Нәтижелер және талқылау. Қазақстан үшін халықаралық тәжірибе мемлекеттік реттеудің өзіндік тетіктерін қалыптастыруда бағдарлық негіз бола алады, алайда ұлттық контекстті, институционалдық ерекшеліктерді және мәдени әртүрлілікті ескеру маңызды. Креативті индустрияны мемлекеттік қолдау жүйесі дамыған елдердің тәжірибесін зерделеу - бұл саланың әлеуетін және оны реттеудің міндеттерін толық түсінуге мүмкіндік береді. Мысалы, Ұлыбританияда Creative UK атты арнайы құрылым жұмыс істейді, креативті компанияларға салықтық жеңілдіктер қарастырылған, кластерлік қолдау көрсетіледі; Оңтүстік Кореяда үкімет киноиндустрияны дамыту мен экспортты қолдауға инвестиция құйып отыр; ал Эстонияда фрилансерлер мен микробизнесті қолдау үшін цифрлық платформа іске қосылған, сондай-ақ креативті хабтар дамып келеді.

Ұлыбритания креативті индустрияны стратегиялық сектор ретінде жүйелі түрде қалыптастырған алғашқы елдердің бірі болып саналады.1997 жылы Үкімет «creative industries» ұғымын ресми түрде мойындап, осы салаға арналған арнайы саясат әзірледі. Мемлекеттік және жекеменшік сектор өкілдерінен тұратын Creative Industries Council құрылды. Бұл Кеңес стратегиялық жоспарлау, талдау және креативті бизнестің мүдделерін ілгерілету мәселелерімен айналысады [8].

Креативті индустрияны мемлекеттік реттеу саласындағы Ұлыбританияның тәжірибесі жүйелі және көп құрамды тәсілмен ерекшеленеді. Ағылшын моделінің негізгі элементтеріне мыналар жатады: көркем фильмдер, анимация және бейне ойындар өндіретін компанияларға салықтық жеңілдіктер беру; Creative Growth Finance секілді арнайы қаржыландыру бағдарламаларын іске асыру; өңірлік деңгейде шығармашылық кластерлер мен хабтарды дамыту; сондай-ақ креативті өнімнің экспортын жан-жақты қолдау. Мұндай тәсіл саланың тұрақты дамуына және оны жаһандық нарықтарға интеграциялауықпал етеді [9].

Оңтүстік Корея жаһандық нарықтарға ұлттық контентті ілгерілетуге бағытталған үлгіні қолданады. Үкімет киноөндіріс, музыка, компьютерлік ойындар, сән және сұлулық индустрияларын дамытуға мақсатты түрде инвестиция салады. KOCCA (Korea Creative Content Agency) секілді арнайы агенттіктер құрылды. Бұл агенттіктер креативті кәсіпкерлерге арналған оқу курстарын ұсынады, стартаптарды қаржылай қолдайды, өнімді халықаралық тарату үшін гранттар бөледі, сондай-ақ «K-Culture» брендін насихаттау мақсатында халықаралық фестивальдер мен көрмелер ұйымдастырады.

Оңтүстік Корея моделі креативті индустрияны экспортқа бағытталған секторға айналдыруда мемлекеттік саясаттың қандай маңызды рөл

атқара алатынын көрсетеді [10].

Эстония шағын ауқымына қарамастан, креативті кәсіпкерлерді қолдауды цифрлық экожүйеге органикалық түрде біріктіре отырып, тұрақты цифрлық инфрақұрылым құра алды. E-Residency платформасы арқылы кез келген адам әлемнің кез келген жерден Эстонияда компания тіркеп, цифрлық кәсіпкерлікпен айналысып, Еуропалық Одақ аумағында заңды түрде қызмет жүргізе алады. Бұған қоса, креативті жобаларды дамытуға арналған мемлекеттік акселераторлар жұмыс істейді, өңірлерде жергілікті креативті хабтар қолдау табуда, цифрлық өнер мен мәдени инновация фестивальдері өткізіледі және креативті туризмді дамыту бағдарламалары іске асырылуда [11].

Ресей Федерациясында креативті индустриялар саласындағы нормативтік-құқықтық база едәуір дамуға ие болды.2024 жылы «Ресей Федерациясында креативті (шығармашылық) индустрияларды дамыту туралы» Федералдық заң қабылданды. Бұл заң креативті сектор қатысушылары арасындағы өзара іс-қимыл тетіктерін, мемлекеттік саясаттың қағидаттары мен қолдау шараларын және құқықтық негіздерді бекітті. Аталған заң шығармашылық экономиканы институционалдандырудың және оны мемлекеттік деңгейде реттеудің бірыңғай тәсілін қалыптастырудың маңызды кезеңі болды [12].

Халықаралық тәжірибе көрсетіп отырғандай, креативті индустрияны тиімді мемлекеттік реттеу бұл икемділік, салалар арасындағы өзара байланыс және адами капиталды дамытуға бағытталу талап ететін күрделі процесс. Сонымен қатар, бұл салада стратегиялық көзқарастың ерекше маңызды екенін айғақтайды.

Жүргізілген талдау креативті бизнесті реттеуде жүйесіз тәсілдің бар екенін көрсетті. Қолданыстағы шаралар бұл саладағы кәсіпкерлік субъектілерінің дамуын жеткілікті дәрежеде ынталандырмай отыр.

Салыстырмалы талдау табысты үлгілерге тән келесі ортақ белгілерді анықтауға мүмкіндік береді:

- креативті индустрияны дамытуға бағытталған мамандандырылған институт немесе агенттіктің болуы;

- шығармашылық өнімді экспортқа бағыттау және монетизациялауға стратегиялық басымдық беру;

- цифрлық шешімдерді интеграциялау;

- жас кәсіпкерлер мен стартаптарды қолдауға ерекше назар аудару;

- саланың ерекшеліктеріне бейімделген қаржылық және білім беру құралдарының болуы.

Қазіргі уақытта Қазақстандағы креативті индустрияны мемлекеттік реттеу жүйесі фрагменттелген күйінде қалып отыр. Жүйелі тәсілдің, институционалдық қолдаудың, инфрақұрылымның және бейімделген қаржылық құралдардың жетіспеушілігі креативті кәсіпкерліктің дамуын тежейді.

Дегенмен, реттеудің жекелеген элементтері шағын және орта бизнесті қолдау бағдарламалары, цифрлық экономиканы дамыту шаралары, сондай-ақ Қазақстан Республикасы Мәдениет және ақпарат министрлігі, Цифрлық даму, инновациялар және аэроғарыш өнеркәсібі министрлігі секілді мемлекеттік органдардың бастамалары арқылы іске асырылуда. Шығармашылық жобалар мен стартаптарды дамытуға мемлекеттік гранттар бөлінеді. Бұл салада реттеу көбіне зияткерлік меншік, кәсіпкерлік, мәдениет, цифрландыру және білім беру салаларындағы заңдар арқылы жанама түрде жүргізіледі. Алайда, бұл құралдар негізінен IT-сектор мен дәстүрлі шағын және орта бизнеске бағытталған, ал өнер, технология және білім беру элементтері біріктірілген креативті жобалардың ерекшеліктері сирек ескеріледі [13]. Сонымен қатар, көптеген нормативтік құжаттар креативті бизнестің ерекшелігін бейнелемейді және оның дамуын тікелей қолдайтын нақты нормалардан ада.

Қазақстан Республикасының Кәсіпкерлік кодексінде креативті индустриялар саласындағы жеке кәсіпкерлік субъектілерін мемлекеттік қолдау көзделген. Атап айтқанда, Кодекстің 92-бабында мемлекеттік қолдаудың негізгі бағыттарының бірі ретінде креативті индустриялар саласында жеке кәсіпкерлік субъектілерінің қыз-

метіне жәрдемдесу көрсетілген [14].

«Астана» халықаралық қаржы орталығы (АХҚО) - қаржы саласында арнайы құқықтық режим қолданылатын алаң креативті кәсіпкерлікті қолдаудың инновациялық тетіктерін енгізуге ықпал етуде.2024 жылы АХҚО негізінде Қазақстандағы алғашқы жеке киноиндустрияға бағытталған инвестициялық қор Tolqyn Film Fund OEIC Ltd құрылды. Қордың негізгі қызмет бағыты - коммерциялық әлеуеті бар киножобаларға инвестиция салу. Қордың мақсатты көлемі шамамен 5,5 млрд теңгені құрайды, ал жұмыс мерзімі - үш жыл. Инвестициялық стратегия аясында қор жанрлар мен географиялық нарықтар бойынша әртараптандырылған 15–20 жобаны қолдауды жоспарлап отыр. Мұндай қаржы құралының АХҚО аясында құрылуы креативті экономиканың кәсіпкерлік қызметтің перспективалық бағыты ретінде маңыздылығының артқанын көрсетеді [15, 16].

Кестеде әртүрлі елдерде мемлекеттік саясаттағы креативті сектордың институционалдық жетілу деңгейін көрсететін негізгі қолдау құралдарының жүйеленуі берілген.

1 - кесте - Креативті сектордың мемлекеттік реттеу құралдарын салыстыру

Ел	Салықтық жеңілдіктер	Қаржы ландыру	Кластерлер мен хабтар	Экспортты қолдау	Креативті индустриялар туралы заң
Қазақстан	жартылай	✓	даму сатысында	жартылай	жоқ
Ұлыбритания	✓	✓	✓	✓	жоқ (бірақ Creative UK бар)
Оңтүстік Корея	✓	✓	✓	✓	жоқ (бірақ KOCCA бар)
Ресей	✓	✓	✓	✓	✓
Ескерту: авторлармен құрастырған					

Бүгінгі таңда Қазақстанда креативті экономиканы дамытуға бағытталған кешенді мемлекеттік саясат жоқ. Кәсіпкерлікті қолдау бағдарламалары арқылы көрсетілетін мемлекеттік шаралар, әдетте, шығармашылық жобалардың ерекшеліктеріне бейімделмеген. Ағымдағы жағдайды сипаттайтын негізгі сипаттамалар ретінде мыналарды атап өтуге болады: осы салада жұмыс істейтіндердің статистикалық есебінің төмендігі, қаржыландыру мен гранттардың шектеулілігі, институционалдық инфрақұрылымның жеткіліксіздігі (ірі қалалардан тыс хабтар, акселераторлар, коворкингтер жоқтығы).

Креативті индустрияның дамуына бекітілген мемлекеттік бағдарламалар мен стратегиялық құжаттардың толық іске аспай тұрып, мерзімінен бұрын тоқтатылу тәжірибесі де теріс әсер етеді. Мұндай жағдайлар халықтың хабардарлық деңгейін төмендетеді, мемлекеттік реттеу тетіктеріне деген сенімді әлсіретеді және қойылған мақсаттарға қол жеткізуді қиындатады. Мысалы ретінде, 2019 жылы қабылданған «Бизнес жол картасы - 2025» мемлекеттік бағдарламасын келтіруге болады, ол Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2022 жылғы 2 ақпандағы қаулысымен өз күшін жойды [17].

Экономиканың креативті секторындағы саясат бірнеше мемлекеттік ұйымдар арасында бөлінген, ал акиматтар жергілікті бастамаларды жүзеге асырады. «Атамекен» Ұлттық кәсіпкерлер палатасы шағын және орта бизнесті жалпы дамытуға жауапты. Мұндай жіктелу мен үйлестірудің болмауы функциялардың қайталануына, бағдарламалардың бытыраңқылығына

және бірыңғай стратегияның жоқтығына әкеледі. Әсіресе өңірлердегі креативті мамандық өкілдері үшін жағдай күрделі, себебі шығармашылықпен айналысуға арналған кеңістіктер мен цифрлық инфрақұрылым жетіспейді.

Нормативтік-құқықтық базаның, қолданыстағы мемлекеттік бағдарламалардың және аналитикалық дереккөздердің мазмұндық талдау нәтижелері креативті индустрияның орнықты дамуы үшін жүйелі тәсіл қажет екенін көрсетеді. Бұл тәсілге заңнамалық бекіту, қаржылық қолдау, инфрақұрылым мен адами капиталды дамыту кіреді. Шетелдік тәжірибені жинақтау ұлттық реттеу үлгісін қалыптастыруда ең тиімді шешімдерді қолдануға мүмкіндік береді. Процеңттік мәндер бағалау сипатында болып, креативті кәсіпкерліктің дамуына жекелеген кедергілердің институционалдық және нормативтік деңгейдегі әсер ету дәрежесін көрсетеді. Классификация мен реттеу авторлардың сараптамалық бағасына, сондай-ақ креативті экономиканы халықаралық реттеу тәжірибесінің салыстырмалы-құқықтық талдауына негізделген. Мұндай тәсілдің мақсаты - ұлттық реттеу үлгісіндегі проблемалық тұстарды анықтау және оны жетілдіру бағыттарын белгілеу.



1 - сурет. Қазақстандағы креативті индустрияның дамуының негізгі кедергілері

Қорытынды. Жүргізілген талдау нәтижелері мынадай тұжырым жасауға негіз береді: Қазақстандағы креативті индустрия қолдаудан бөлек, икемділікке, орнықтылыққа және қолжетімділікке негізделген жүйелі реттеу тәсілін қажет етеді. Қазақстандағы креативті индустрия жоғары өсу әлеуетіне ие, алайда ол үшін мемлекет тарапынан жүйелі реттеу мен қолдау қажет, ол өз кезегінде нормативтік, қаржылық және институционалдық сүйемелдеуді қамтуы тиіс. Ұсынылған шараларды жүзеге асыру осы сектордың экономикасын нығайтуға, жұмыспен қамтуды арттыруға және елдің мәдени және цифрлық саладағы халықаралық бәсекеге қабілеттілігін күшейтуге мүмкіндік береді.

Креативті индустрияны дамыту Қазақстан экономикасын әртараптандырудың маңызды бағытына айнала алады, әсіресе цифрландыру жағдайында. Бұл үшін шығармашылық кәсіпкерліктің ерекшеліктерін ескеретін және реттеу мен қаржыландыруда инновациялық тәсілдерге дайын мемлекеттік саясат қажет.

Креативті индустрия саласындағы кәсіпкерлікті тұрақты және тиімді мемлекеттік қолдау жүйесін қалыптастыру үшін келесі шаралар ұсынылады: креативті индустрияны дамыту стратегиясы бойынша нормативтік құжат әзірлеу; шығармашылық кәсіпкерлер үшін салықтық ынталандыруларды енгізу; инфрақұрылымға қолжетімділікті қамтамасыз ету (креативті хабтар, медиаорталықтар, шеберханалар); креативті мамандықтарды жұмыспен қамту және білім бе-

ру бағдарламаларына енгізу; креативті жобалардың бірыңғай цифрлық реестрін құру; саланы статистикалық есепке алу және мониторинг жүргізу критерийлерін әзірлеу.

«Креативті индустрия» ұғымын заңнамалық деңгейде бекіту – ең маңызды және алғашқы қадам. Қаржыландырудың дәстүрлі көздеріне шектеулі қолжетімділікті ескере отырып, креативті кәсіпкерлер үшін келесі тетіктерді енгізу орынды: шығармашылық стартаптар үшін мамандандырылған гранттар; кепілсіз микронесиелеу; креативті жобаларға бағытталған венчурлік қорлар; мәдени контент, цифрлық өнімдер және әлеуметтік жарнама жасауға арналған мемлекеттік тапсырыстар. Бұл шаралар жас кәсіпкерлерге, студенттерге және фрилансерлерге ерекше маңызға ие.

Келесі басымдық – инфрақұрылымды және өңірлік дамуды қолдау. Креативті хабтарды, шеберханаларды, медиаорталықтар мен мәдени кластерлерді, әсіресе өңірлерде дамыту, жастар белсенділігінің катализаторына айналады. Бұл үшін: бірлескен жұмыс кеңістіктерін құру; шығармашылық іс-шаралар мен фестивальдерді қолдау; жергілікті жобаларды туризм және өңірлік брендтеу бағдарламаларына енгізу қажет. Креативті индустрияның орталықсыздандыру елорда мен өңірлер арасындағы теңсіздікті төмендетеді.

Креативті индустрияны тиімді мемлекеттік реттеу қазіргі заманда сұранысқа ие шығармашылық және цифрлық дағдыларды дамытуға бағытталған білім беру ортасын қалыптастыруды да қамтуы тиіс. Мемлекеттік бастамалар: білім беру бағдарламаларын жаңартуға; арнайы курстар құруға; STEAM-подходты (ғылым, технология, инженерия, өнер және математика тоғысында) енгізуге бағытталуы қажет. Бұл инновациялық әрі бәсекеге қабілетті адами капиталды дамытуға септігін тигізеді. Бұл процесте: дизайн, медиа және цифрлық контент саласындағы арнайы бағдарламалар мен акселераторлар; бизнес құрылымдармен бірлескен жобалар, тәжірибе мен зертханалар арқылы білім беру мен өндірісті интеграциялау ерекше рөл атқарады.

Жүргізілген талдау креативті индустрияға мемлекет тарапынан стратегиялық назар аудару шикізатқа тәуелділікті төмендетуге бағытталған экономиканы әртараптандыруға, жаңа жұмыс орындарын құруға, елдің халықаралық имиджін нығайтуға, мәдени бастамалар арқылы әлеуметтік бірлікті күшейтуге ықпал ететінін көрсетті.

Халықаралық тәжірибе мен Қазақстанның нақты жағдайын ескере отырып, құқықтық реттеуден бастап институционалдық және білім беру бастамаларына дейін креативті экономиканы дамытуға бағытталған ұсыныстар берілді. Бұл ұсыныстарды іске асыру ведомствоаралық өзара іс-қимылды және креативті қауымдастықпен диалогты талап етеді. Осылайша, Қазақстанда креативті индустрияны реттеу жүйесін дамыту уақытылы ғана емес, стратегиялық тұрғыдан қажет қадам. Бұл тұрақты өсімді қамтамасыз етуге, адами әлеуетті ашуға және Қазақстанды жаһандық мәдени-экономикалық кеңістікке интеграциялауға мүмкіндік береді.

Қаржыландыру. *Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің AP26103811 «Қазақстандағы нарықта IT-компаниялардың бәсекеге қабілеттілік стратегияны әзірлеу: табыстың жасырын факторларын анықтау және өсу факторларын анықтау үшін деректерді талдау әдістерін пайдалана отырып, инновациялық кластерлерді қалыптастыру» атты жобаның қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды.*

Әдебиеттер

1. Жеке кәсіпкерлік субъектілерін креативті индустриялар субъектілеріне жатқызу өлшемшарттарын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2023 жылғы 6 маусымдағы № 447 қаулысы. URL: https://adilet.zan.kz. - Қаралған күні:: 23.05.2025.

2.2023 - 2029 жылдарға арналған цифрлық трансформация, ақпараттық-коммуникациялық технологиялар саласын және киберқауіпсіздікті дамыту тұжырымдамасын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2023 жылғы 28 наурыздағы № 269 қаулысы. URL: https://adilet.zan.kz. - Қаралған күні: 23.05.2025.

3. Ялкунов М.У., Хаджиева Г.У., Карабчук Т.С. Факторы роста креативного сектора: обзор концепций развития креативных индустрий Казахстана и Великобритании. // Вестник университета «Туран». -2024. -Т.4. - С.116-128. DOI 10.46914/1562-2959-2024-1-4-116-128.

4. Li X. Cultural creative economy and urban competitiveness: How one matters to the other// Journal of Urban Affairs. -2020. -Vol 42(8).-P.1164-1179. DOI 10.1080/07352166.2020.1727293.

5. Suciu M.C., Năsulea D.F. Intellectual Capital and Creative Economy as Key Drivers for Competitiveness Towards a Smart and Sustainable Development: Challenges and Opportunities for Cultural and Creative Communities// In Book: Intellectual Capital Management as a Driver of Sustainability. -2018. - P.67-97 .DOI 10.1007/978-3-319-79051-0_5.

6. Голубева В.В. О перспективах развития креативных индустрий в Республике Беларусь. // Труды Санкт-Петербургского государственного института культуры. -2023.-Т.227. -С.87-93.

7. Об утверждении перечня видов экономической деятельности, относящихся к креативной индустрии: Постановление Правительства Республики Казахстан от 6 июня 2023 года № 448. URL: https://adilet.zan.kz .- Қаралған күні: 23.05.2025.

8. Creative Industries Council (UK). URL: https://www.gov.uk.- Қаралған күні: 23.05.2025.

9. Creative Industries Council (UK). What we do. URL: https://www.gov.uk. - Қаралған күні: 27.05.2025.

10. Korea Creative Content Agency (KOCCA). Annual Report 2023. - Seoul: KOCCA. - 2024. – 112 p. URL: https://www.kocca.kr. - Қаралған күні: 27.05.2025.

11. Метс А. Е-резидентство в Эстонии. Руководство: что это такое и для чего, права, стоимость и инструкции/WISE. – 2023. URL: https://wise.com. - Қаралған күні: 27.05.2025.

12. Федеральный закон ”О развитии креативных (творческих) индустрий в Российской Федерации” от 08.08.2024 N 330-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru. - Қаралған күні: 27.05.2025.

13. Кадыр Р.С. Аналитический доклад на тему: «Креативное будущее: тенденции в индустрии творчества в Казахстане» // Астана, НАО «Казахстанский институт общественного развития». - 2024. - 100 с. ISBN 978-601-08-4697-5.

14. Қазақстан Республикасының Кәсіпкерлік Кодексі Қазақстан Республикасының Кодексі 2015 жылғы 29 қазандағы № 375-V ҚРЗ. URL: https://adilet.zan.kz. - Қаралған күні: 28.05.2025.

15. Астана халықаралық қаржы орталығы туралы Қазақстан Республикасының Конституциялық Заңы 2015 жылғы 7 желтоқсандағы № 438-V ҚРЗ. URL: https://adilet.zan.kz. - Қаралған күні: 28.05.2025.

16. Аналитический обзор «Креативные индустрии Казахстана: тренды и перспективы»//AIFC, Dasco Group. - 2024. URL: https://aifc.kz. - Қаралған күні: 28.05.2025.

17. «Бизнестің жол картасы-2025» бизнесті қолдау мен дамытудың мемлекеттік бағдарламасын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2019 жылғы 24 желтоқсандағы №968 қаулысы. Күші жойылды - Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2022 жылғы 2 ақпандағы №43 қаулысымен. URL: https://adilet.zan.kz. - Қаралған күні:: 28.05.2025.

References

1. Zheke kəsipkerlik sub#ektilerin kreativti industrijalar sub#ektilerine zhatқyzu өlshemsharttaryn bekitu turaly Қazaқstan Respublikasy Ykimetinің 2023 zhylғy 6 mausymdaғy № 447 қaulysy. URL: https://adilet.zan.kz. - Қaralғan kүni: 23.05.2025. [in Kazakh]

2.2023 - 2029 zhyldarға arnalған cifrlyқ transformacija, aқparattyқ-kommunikacijalyқ tehnologijalar salasyn zhəne kiberқauipsizdikti damytu tұzhyrymdamasyn bekitu turaly Қazaқstan Respublikasy Ykimetinің 2023 zhylғy 28 nauryzdaғy № 269 қaulysy. URL: https://adilet.zan.kz. - Қaralған kүni: 23.05.2025. [in Kazakh]

3. Jalkunov M.U., Hadzhieva G.U., Karabchuk T.S. Faktory rosta kreativnogo sektora: obzor koncepcij razvitija kreativnyh industrij Kazahstana i Velikobritanii. // Vestnik universiteta «Turan». -2024. -T.4. -S.116-128. DOI 10.46914/1562-2959-2024-1-4-116-128. [in Russian]

4. Li X. Cultural creative economy and urban competitiveness: How one matters to the other// Journal of Urban Affairs. -2020. -Vol 42(8).-P.1164-1179. DOI 10.1080/07352166.2020.1727293.

5. Suciu M.C., Năsulea D.F. Intellectual Capital and Creative Economy as Key Drivers for Competitiveness Towards a Smart and Sustainable Development: Challenges and Opportunities for Cultural and Creative Communities// In Book: Intellectual Capital Management as a Driver of Sustainability. -2018. - P.67-97 .DOI 10.1007/978-3-319-79051-0_5.

6. Golubeva V.V. O perspektivah razvitija kreativnyh industrij v Respublike Belarus’. // Trudy Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo instituta kul’ tury. -2023.-T.227. -S. 87-93.

7. Ob utverzhdenii perechnja vidov jekonomicheskoj dejatel’ nosti, otnosjashhihsja k kreativnoj industrii: Postanovlenie Pravitel’ stva Respubliki Kazahstan ot 6 ijunja 2023 goda № 448. URL: https://adilet.zan.kz.- Қaralған kүni: 23.05.2025. [in Russian]

8. Creative Industries Council (UK). URL: https://www.gov.uk .- Қaralған kүni: 23.05.2025. [in Russian]

9. Creative Industries Council (UK). What we do. URL: https://www.gov.uk. - Қаралған күні: 27.05.2025.

10. Korea Creative Content Agency (KOCCA). Annual Report 2023. - Seoul: KOCCA. - 2024. – 112 p. URL: https://www.kocca.kr. - Қаралған күні: 27.05.2025.

11. Mets A. E-rezidentstvo v Jestonii. Rukovodstvo: chto jeto takoe i dlja chego, prava, stoimost’ i instrukcii/WISE. - 2023. URL: https://wise.com. - Қaralған kүni: 27.05.2025. [in Russian]

12. Federal’ nyj zakon ”O razvitii kreativnyh (tvorcheskih) industrij v Rossijskoj Federacii” ot 08.08.2024 N 330-FZ. URL: https://www.consultant.ru. - Қaralған kүni: 27.05.2025. [in Russian]

13. Kadyr R.C. Analiticheskij doklad na temu: «Kreativnoe budushhee: tendencii v industrii tvorchestva v Kazahstane» // Astana, NAO «Kazahstanskij institut obshhestvennogo razvitija». - 2024. - 100 s. ISBN 978-601-08-4697-5. [in Russian]

14. Қazaқstan Respublikasynyң Kəsipkerlik Kodeksi Қazaқstan Respublikasynyң Kodeksi 2015 zhylғy 29 қazandaғy № 375-V ҚRZ. URL: https://adilet.zan.kz. - Қaralған kүni: 28.05.2025. [in Kazakh]

15. Astana halyқaralyқ қarzhy ortalyғy turaly Қazaқstan Respublikasynyң Konstitucijalyқ Zaңy 2015 zhylғy 7 zheltoқsandaғy № 438-V ҚRZ. URL: https://adilet.zan.kz/kaz/docs/Z1500000438. - Қaralған kүni: 28.05.2025. [in Kazakh]

16. Analiticheskij obzor «Kreativnye industrii Kazahstana: trendy i perspektivy»//AIFC, Dasco Group. - 2024. URL: https://aifc.kz. - Қaralған kүni: 28.05.2025. [in Russian]

17. «Biznestің zhol kartasy-2025» biznesti қoldau men damytudyң memlekettik bағdarlamasyn bekitu turaly Қazaқstan Respublikasy Ykimetinің 2019 zhylғy 24 zheltoқsandaғy №968 қaulysy. Kүshi zhojyldy - Қazaқstan Respublikasy Ykimetinің 2022 zhylғy 2 aқpandaғy №43 қaulysymen. URL:

https://adilet.zan.kz. - Қаралған күні:: 28.05.2025. [in Kazakh]

Авторлар туралы мәліметтер

Есмагулова Н.Д. экономика ғылымдарының кандидаты, профессор, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: nur7725@gmail.com;

Исмаилова Р.А.- экономика ғылымдарының докторы, профессор, Astana IT University, Астана, Қазақстан, e-mail: rymkul.kz@mail.ru;

Ибадильдин Н.А.- PhD, доцент, Astana IT University, Астана, Қазақстан, e-mail: ibadildin.nurkhat@astanait.edu.kz;

Акижанова А.М. - PhD кандидаты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: aigerim.akizhan@mail.ru;

Темирова А.Б. - экономика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан, e-mail: bolat39@mail.ru;

Асанова А.Б. - экономика ғылымдарының кандидаты, доцента м.а., Аль- Фараби атындағы ҚазҰУ, Алматы, Қазақстан, e-mail: altin_assan@bk.ru.

Information about the authors

Yesmagulova N.D. - Candidate of Economic Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: nur7725@gmail.com;

Ismailova R.A. - Doctor of Economics, Professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: rymkul.kz@mail.ru;

Ibadildin N. – Ph.D., Associate Professor, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: ibadildin.nurkhat@astanait.edu.kz;

Akizhanova A.M. – PhD Candidate, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aigerim.akizhan@mail.ru;

Temirova A.B. - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, NJSC ”Korkyt Ata Kyzylorda University”, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: bolat39@mail.ru;

Asanova A.B. - Candidate of Economic Sciences, Acting Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: altin_assan@bk.ru.

МРНТИ 06.52.35 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-979**

АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ СЦЕНАРНО-ПРОГНОЗНЫХ ПОДХОДОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫПУСКА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В КАЗАХСТАНЕ

[1]Д.С. Кауметова, [2]Н.С. Сулейменов

[1]Кокшетауский университет им. Шокана Уалиханова, Кокшетау, Казахстан,
[2]Кызылординский университет им.Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан
Корреспондент-автор: nurzhan_suleymen@mail.ru

Статья посвящена вопросам применения сценарного прогнозирования для увеличения выпуска высокотехнологичной продукции в Казахстане. Авторы рассматривают ключевые аспекты внедрения данного подхода, включая анализ текущего состояния отрасли, прогнозирование возможных сценариев развития, разработку стратегий и механизмов их реализации. Особое внимание уделяется необходимости учета факторов риска и адаптации международного опыта, в частности, практик таких стран, как Германия, Южная Корея и Сингапур, для повышения конкурентоспособности казахстанской экономики.

В исследовании использован метод Хольта - Винтерса для анализа динамики выпуска высокотехнологичной продукции и прогнозирования её роста. Приводятся примеры успешного применения сценарного моделирования в горнодобывающей, энергетической и IT-отраслях, а также обсуждаются меры государственной поддержки, такие как развитие инфраструктуры, налоговые льготы и международное сотрудничество.

Авторы подчеркивают важность развития инноваций, цифровизации производства и подготовки высококвалифицированных кадров. В заключении предлагаются рекомендации по модернизации промышленности, увеличению инвестиций в НИОКР и снижению зависимости от импорта. Статья представляет ценность для специалистов в области экономики, промышленности и инновационного развития.

Ключевые слова: сценарное прогнозирование, технологическая промышленность, высококвалифицированные кадры, высокотехнологичная продукция, инновации, метод Хольта-Винтерса.

ҚАЗАҚСТАНДА ЖОҒАРЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ӨНІМ ШЫҒАРУДЫ ҰЛҒАЙТУ ҮШІН СЦЕНАРИЙЛІК-БОЛЖАМДЫҚ ТӘСІЛДЕРДІ ЕНГІЗУ АСПЕКТІЛЕРІ

[1]Д.С. Кауметова, [2]Н.С. Сүлейменов

[1]Шоқан Уалиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау, Қазақстан,
[2]Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда, Қазақстан,
e-mail: nurzhan_suleymen@mail.ru

Мақала Қазақстанда жоғары технологиялық өнім шығаруды ұлғайту үшін сценарийлік болжауды қолдану мәселелеріне арналған. Авторлар саланың ағымдағы жай-күйін талдауды, ықтимал даму сценарийлерін болжауды, оларды іске асыру стратегиялары мен тетіктерін әзірлеуді қоса алғанда, осы тәсілді енгізудің негізгі аспектілерін қарастырады. Қазақстан экономикасының бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін тәуекел факторларын есепке алу және халықаралық тәжірибені, атап айтқанда Германия, Оңтүстік Корея және Сингапур сияқты елдердің тәжірибелерін бейімдеу қажеттілігіне ерекше назар аударылады.

Зерттеу жоғары технологиялық өнімнің динамикасын талдау және оның өсуін болжау үшін Холт-Винтерс әдісін қолданды. Тау-кен, энергетика және IT салаларында сценарийлік модельдеуді сәтті қолдану мысалдары келтірілген, сондай-ақ инфрақұрылымды дамыту, салықтық жеңілдіктер және халықаралық ынтымақтастық сияқты мемлекеттік қолдау шаралары талқыланады.

Авторлар инновацияларды дамытудың, өндірісті цифрландырудың және жоғары білікті кадрларды даярлаудың маңыздылығын атап көрсетеді. Қорытындыда өнеркәсіпті жаңғырту, ҒЗТКЖ-ға инвестицияларды ұлғайту және импортқа тәуелділікті төмендету бойынша ұсынымдар ұсынылады. Мақала экономика, өнеркәсіп және инновациялық даму саласындағы мамандар үшін құнды.

Түйінді сөздер: сценарийлерді болжау, технологиялық индустрия, жоғары білікті кадрлар, жоғары технологиялық өнімдер, инновациялар, Холт-Винтерс әдісі.

ASPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF SCENARIO-BASED FORECASTING APPROACHES TO INCREASE THE OUTPUT OF HIGH-TECH PRODUCTS IN KAZAKHSTAN

[1]D.S. Kaumetova, [2]N.S. Suleimenov

[1]Kokshetau University named after Shokan Ualikhanov Kokshetau, Kazakhstan,
[2]Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, Kazakhstan,
e-mail: nurzhan_suleymen@mail.ru

The article is devoted to the application of scenario forecasting to increase the output of high-tech products in Kazakhstan. The authors consider the key aspects of implementing this approach, including analyzing the current state of the industry, forecasting possible development scenarios, and developing strategies and mechanisms for their implementation. Special attention is paid to the need to take into account risk factors and adapt international experience, in particular, the practices of countries such as Germany, South Korea and Singapore, in order to increase the competitiveness of the Kazakh economy.

The study uses the Holt-Winters method to analyze the dynamics of high-tech production and predict its growth. Examples of successful scenario modeling applications in the mining, energy, and IT industries are given, and government support measures such as infrastructure development, tax incentives, and international cooperation are discussed.

The authors emphasize the importance of innovation development, digitalization of production and training of highly qualified personnel. In conclusion, recommendations are made for industrial modernization, increased investment in R&D, and reduced dependence on imports. The article is valuable for specialists in the field of economics, industry and innovative development.

Keywords: scenario forecasting, technological industry, highly qualified personnel, high-tech products, innovations, Holt-Winters method.

Введение. Экономика Казахстана в настоящее время стремится к повышению конкурентоспособности на мировом рынке, что подразумевает совершенствование высокотехнологических отраслей и производства инновационной продукции. В условиях прогресса и глобальной цифровизации сценарное моделирование является необходимым инструментом стратегического планирования и устойчивого развития высокотехнологических отраслей. Данные методы позволяют предвидеть аспекты развития рынка, усовершенствовать производство, подготовить к дальнейшим переменам и вывести Казахстан на лидирующие позиции по инновациям.

Сценарное прогнозирование является ключевым инструментом планирования в производстве, который позволяет моделировать различные процессы. В изменяющихся условиях мирового рынка требуются гибкие и адаптивные решения.

Сценарное моделирование в Казахстане актуально развивать согласно нескольким аспектам. Первый аспект – повышение конкурентоспособности на мировом уровне требует от экономики принятия быстрых решений на перемены на рынке. Второй – минеральная база Казахстана позволяет усовершенствовать промышленность для обеспечения долгосрочного развития экономики. Третье – спрос на высококвалифицированные кадры и доступ к новейшим технологиям создают проблемы, которые можно решить с помощью сценарного прогнозирования [1, 2].

Адаптация международного опыта в Казахстане поможет внедрить передовые технологии и повысить государственные стандарты. При этом Республика перенимает опыт таких стран как Германия, Южная Корея и Сингапур. Важно внедрять международный опыт в горнодобывающем секторе, так как есть возможность экспорта продукции с добавленной стоимостью [3].

Страны, активно инвестирующие в инновации, получают значительные преимущества. Примером могут служить страны Европейского союза, Южная Корея, США, Великобритания которые успешно используют сценарное прогнозирование для адаптации своих экономик к глобальным изменениям и поддержания устойчивого роста. В энергетическом плане такие страны как США, Великобритания успешно разработали кейсы по сценарному прогнозированию, которые можно применить в Казахстане [4].

Американская компания General Electric- мировой лидер в области энергетики, использующий технологии и услуги создания стоимости энергии от генерации до потребления энергии. Оборудование GE Power вырабатывает более 30 процентов электроэнергии в мире. Данная компания совершенствует энергетическую отрасль, обьединяет ресурсы и цифровизацию. General Electric использует аналитику данных на AWS, тем самым помогает клиентам электростанций экономить бюджет, передаю множество записей с датчиков. Компания представляет коммунальным хозяйствам и энергетическим компаниям решения для генерации электроэнергии. GE Power выпускает приложение для аналитики данных на AWS, используя и Amazon Kinesis Data Streams и Amazon Elastic MapReduce [5].

В Великобритании сценарное моделирование для развития мировых энергетических рынков использует компания Shell специализирована на нефтегазовую отрасль. Она разработала несколько сценариев для долгосрочного планирования и пути развития энергетических систем. В области изменения климата компания разработала соглашение по влиянию изменения климата и спросу на ископаемые виды топлива. Также «Shell» ориентирована на развитие возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой), водородной энергетики или технологий хранения энергии. Компания использует данные сценарии для разработки долгосрочных стратегий, таких как переход к чистым источникам энергии и оптимизация своих операций с учетом возможностей.

Другая Британская нефтегазовая компания British Petroleum применяет сценарное прогнозирование для создания энергетического ландшафта с учетом борьбы с изменением климата. Компания создала несколько сценариев в своей ”Энергетической перспективе”, анализируя возможные пути развития энергетического рынка. В области перехода к низкоуглеродной экономике компания осуществляет оценивание влияния усиления экологических стандартов и использования альтернативных источников энергии. Проводит прогнозирование применения новых технологий (углеродное хранение) и влияние на спрос традиционных видов энергии.

Успешные примеры, которые используются в Казахстане и других странах подчеркивают важность анализа, адаптация методов к условиям и сотрудничество. Создается основа для устойчивого роста и увеличения продукции [6].

Инновационная экономика характеризуется выраженной региональной спецификой. Далее представлена классификация региональных особенностей формирования и функционирования инновационной экономики по критериям:

- вид региона (горнодобывающий, нефтедобывающий, аграрный, индустриальный, наукоемкий);

-условия организации экономики с учетом накопленного на данной территории научного потенциала;

- состояние внешнеэкономических связей по экспорту знаний и технологий;

- демографическое состояние и человеческий потенциал как основной элемент экономики;

- отраслевая структура валового регионального продукта (ВРП) и доля услуг, ориентированных на развитие человеческого потенциала (здравоохранение, образование, наука, социаль-

ная поддержка).

Результатами применения сценарного прогнозирования являются эффективное управление проектами и ресурсами, адаптация в политических и экономических условиях, получение продуктов в высокотехнологичных отраслях.

Материалы и методы. Объектом изучения является высокотехнологическая продукция, которая выпускается в Казахстане. В исследовании применялся метод Хольта-Винтерса для оценки экспорта высокотехнологической продукции в Казахстане. Данный метод широко используется в целях прогнозирования данных путем сглаживания уровня и тренда.

Метод Хольта-Винтерса или метод экспоненциального сглаживания с сезонностью используется для прогнозирования временных рядов, которые имеют тренд и сезонные колебания. Первоначально используется текущий уровень данных и выполняется тренд, то есть направление измерения ряда. Далее оценивается сезонность - колебания в данных, которые повторяются через одинаковые промежутки времени. По результатам данных осуществляется прогноз на будущее время и проверяется точность результата [7].

Метод эффективен при составлении прогнозов цен на продукцию. Позволяет получить лучший прогноз при исследовании тренда. Преимущество данного метода – это возможность сделать прогноз на длительный период. Использованы данные по экспорту высокотехнологичной продукции Казахстана (в млн. USD) за 2019-2023 гг. (см. таблицу). Прогноз строился методом Хольта–Винтерса с компонентами уровня и тренда. Коэффициенты сглаживания $\alpha=0.5\alpha=0.5$, $\beta=0.3\beta=0.3$. Его применение в анализе динамики экспорта высокотехнологичной продукции позволяет формировать достоверные прогнозы и разрабатывать сценарии развития экономики Республики Казахстан.

Результаты и обсуждение. В связи с мировыми изменениями в экономической среде и росту конкуренции в горнодобывающей, энергетической, обрабатывающей и IT- отрасли Казахстан сталкивается с необходимостью преобразования. В Республике также существует потенциал в инфраструктуре в таких отраслях как горная, нефтегазовая и металлургическая отрасль, машиностроение и химические технологии, а также IT-сектор.

На рисунке 1 представлен график динамики выпуска продукции в Казахстане.

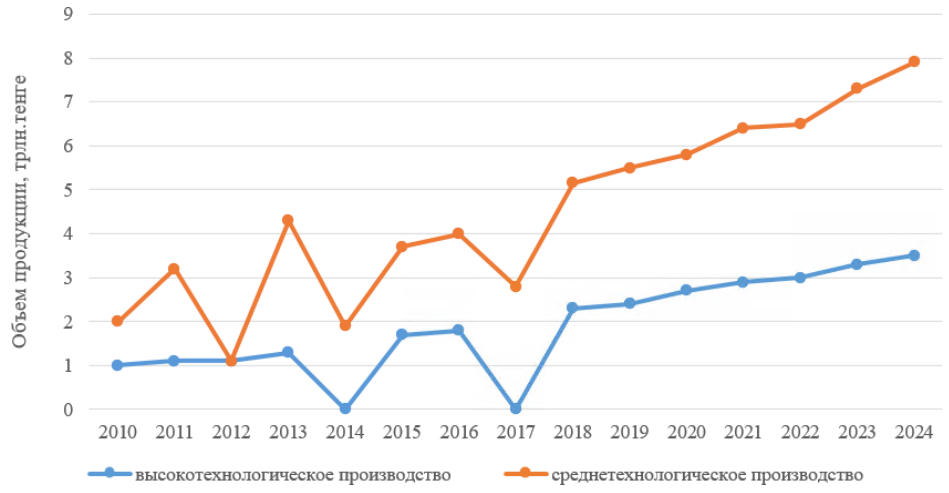


Рис.1 - Динамика выпуска средне- и высокотехнологичной продукции в Казахстане с 2010-2024 гг.

Согласно рисунку 1 в Казахстане развитие среднетехнологической продукции опережает высокотехнологическую, а также наблюдается рост обоих секторов. В Республике имеются обширные запасы полезных ископаемых, которую будут основой для выпуска высокотехнологиче-

ской продукции. Страна экспортирует цветные и редкие металлы, производится разработка урана, титано-циркониевой руды.

При сценарном прогнозировании очень важна система образования. Необходимо изучать различные методы оценки качества промышленности. Система образования является своего рода индикатором заинтересованности государства в развитии инновационного пространства. Чем существеннее расходы на образование, финансирование наукоемких исследований и внедрение высокотехнологичных разработок тем больше эта заинтересованность [8].

К примеру, при применении метода Хольта-Винтерса проведен анализ качества прогнозирования электропотребления ООО «Сорский ГОК» с помощью пассивного статистического эксперимента. В ходе эксперимента был выбран временной ряд электропотребления с 15 декабря 2008 года по 15 марта 2009 года. Далее были взяты 10 суток для которых в последующем строился прогноз. В результате установлено, что метод Хольта-Винтерса возможно применить для прогноза потребления электроэнергии [9].

Другим примером применения метода Хольта-Винтерса является построение моделей объемов электропотребления предприятиями угольной промышленности. Модели использовались на данных шахты имени академика А. А. Скочинского за 2012-2019 гг. Проведенное исследование временного ряда показателей энергопотребления шахтой показало, что ряд является стационарным, в нем присутствуют тренд и сезонность. В результате можно сделать прогноз использования электроэнергии и принять эффективные решения [10].

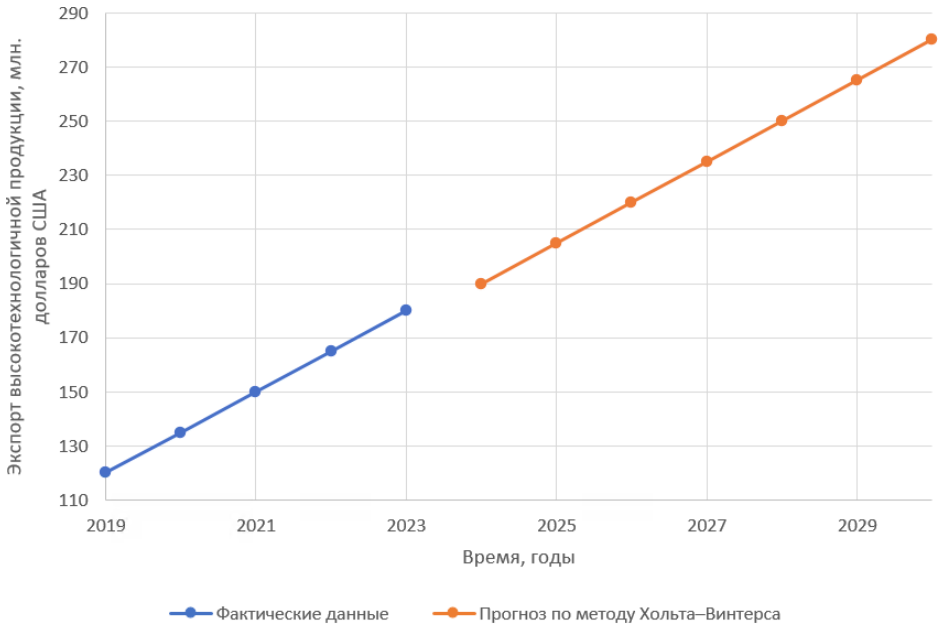


Рис.2 - Фактические данные и прогноз экспорта высокотехнологичной продукции Казахстана (2019–2030 гг.)

Аналогичный подход целесообразно использовать и в оценке динамики экспорта высокотехнологичной продукции в Казахстане. На основе статистических данных за 2019–2023 гг. с применением метода Хольта–Винтерса был выполнен прогноз на период 2024–2030 гг. Результаты моделирования указывают на положительный тренд, что подтверждает наличие потенциала для устойчивого роста. Графическая интерпретация представлена на рисунке 2, где отображены фактические значения за 2019–2023 гг. и прогноз на 2024–2030 гг. по методу Хольта–Винтерса.

Для повышения надежности прогноза были

сформированы три сценария: оптимистичный, реалистичный и пессимистичный. Оптимистичный сценарий предполагает ускоренный рост экспорта благодаря инвестициям в НИОКР, цифровизацию и развитие человеческого капитала. Реалистичный сценарий отражает сохранение текущих темпов роста, а пессимистичный учитывает потенциальные риски сырьевой зависимости и ограниченности финансирования. Сравнительная динамика представлена на рисунке 3.

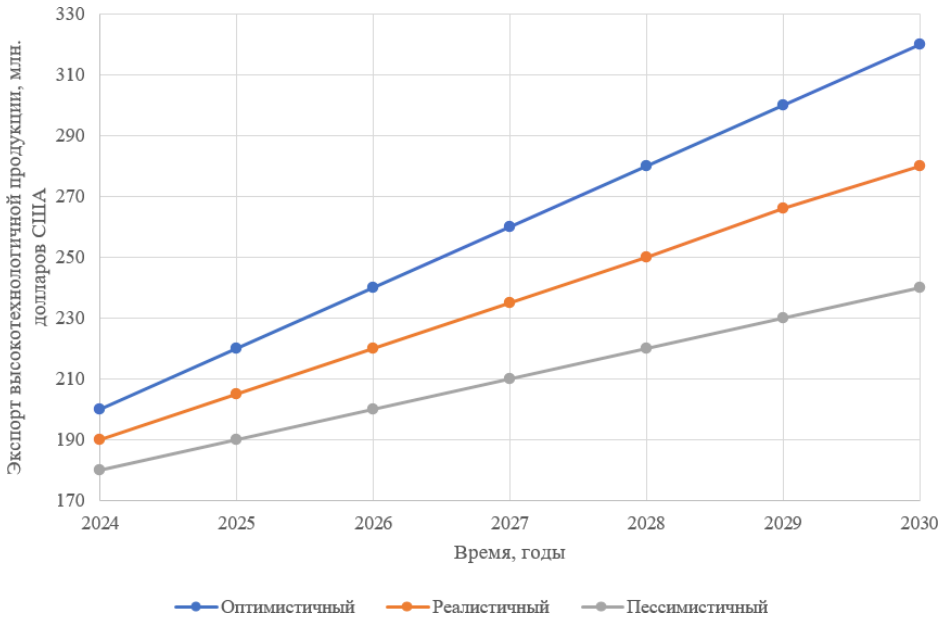


Рис.3 - Сценарные прогнозы экспорта высокотехнологичной продукции Казахстана (2024–2030 гг.)

Таким образом, результаты моделирования подтверждают применимость метода Хольта–Винтерса для прогнозирования социально-экономических показателей в Казахстане и демонстрируют возможности его использования в стратегическом планировании.

Сектор IT в РК стремительно развивается. Благодаря программе «Цифровой Казахстан» производится мотивация создания новых проектов в области программного обеспечения и цифровой защиты. Развитие IT технологий является важным драйвером роста высокотехнологической продукции. Осуществление отечественных решений по вопросам Big data и искусственного интеллекта развивает отрасль высоких технологий [11].

В Казахстане подписан Закон, который предусматривает норму, которая позволяет IT-компаниям получать меры государственной поддержки при экспорте информационно-коммуникационных услуг. Продукты IT-компаний отнесены в отдельный код экономический деятельности, благодаря чему повысится ВВП продукции.

Успешное развитие национальной экономики требует наличия определенного технологического потенциала. Технологические преимущества стали сегодня решающим фактором международной конкуренции, поэтому крайне важно добиваться реализации накопленного технологического потенциала и его дальнейшего укрепления [12].

Обрабатывающая промышленность также является важным ключевым объектом создания рабочих мест в Казахстане. Подобно горнодобывающей отрасли для создания рабочих мест необходима модернизация и усовершенствование производств, а также развитие каналов сбыта и инфраструктуры. В данный момент доля обрабатывающей промышленности в структуре ВВП составила 13%, приблизившись к уровню горнодобывающего сектора (15%). Далее до-

ля экспорта промышленной продукции увеличилась на 11 процентных пунктов с 2018 года и в 2022 году достигла 27% [13].

В обрабатывающей промышленности Казахстана более половины валовой добавленной стоимости создается за счет цветной и черной металлургии, а также нефтепереработки. Продукция высокотехнологических отраслей потребляется в основном на внутреннем рынке и практически не влияет на экспортные показатели.

Поэтому наиболее актуально развитие обрабатывающей промышленности и создания производств, ориентированных на выпуск продукции высокой технологической сложности. Продукция способна конкурировать на мировом сообществе и менее подвержена колебаниям цен на сырье. Такая страна как Япония выпускает высокотехнологическую продукцию, например, ориентирована на транспортную и электротехническую промышленность и ее сектор не подвержен колебаниям цен на сырье.

Машиностроение также является приоритетной отраслью индустриально-инновационного развития страны. За годы реализации программы индустриализации машиностроение стало одной из самых динамично развивающихся отраслей: объем производства в ней увеличился почти в 3 раза и превысил отметку в 1 трлн тг. В настоящее время высокая динамика роста сохранилась [14].

Важным моментом является подготовка данных и анализ данных в целях внедрения сценарно-прогнозных подходов. Сбор данных осуществляется на основе статистических данных, результатах научных работ и отчетов. Основными источниками в Казахстане является Агентство по статистике, а также исследования местных и международных организаций рисунок 4 [15].

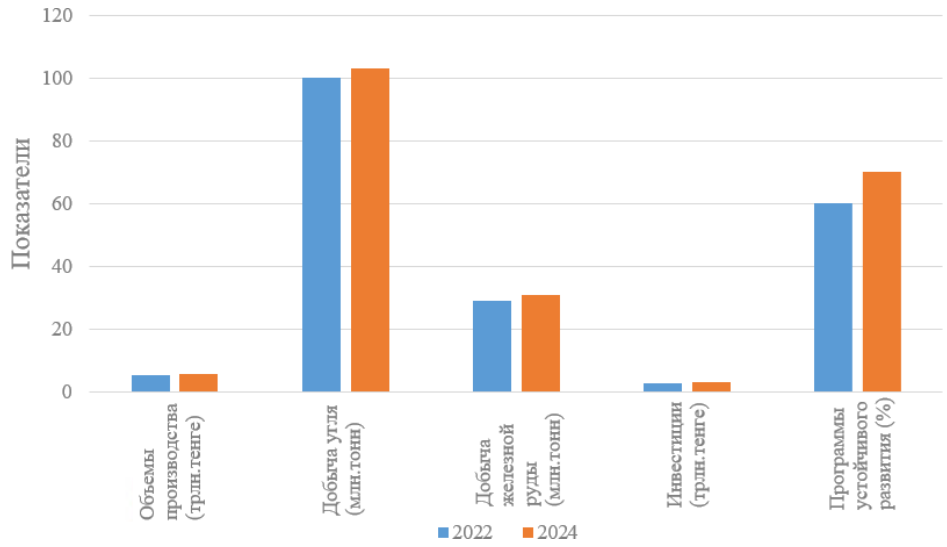


Рис.4 - Сравнение статистических данных по горнодобывающей промышленности Казахстана

Согласно рисунку 4 за 2022-2024 год наивысших показателей достигла добыча угля и программы по устойчивому развитию, далее следует добыча железной руды. Исходя из рисунка видно, что горный сектор играет значительную роль в Казахстане.

Сценарное планирование – это методика планирования, которая применяется в ситуациях неопределенности бизнес-среды в будущем. Изучается преимущества и недостатки и выбирается подходящий метод [16].

Успешный кейс Rio Tinto демонстрирует использование прогнозных моделей, к примеру анализ больших данных и машинное обучение. Данные методики позволяют улучшить усовершенствовать производство и сократить операци-

онные затраты, а также решить вопросы с загрязнением окружающей среды. Методики важно применять в горнодобывающем секторе [17].

Предприятие «Казахмыс» применяет систему управления производственными объектами с помощью IT технологий и автоматизации производства. Применение данных технологий позволяют извлечь экономическую выгоду [18].

Таким образом, использование сценарного планирования, как на примере Rio Tinto и Казахмыс, подчеркивает важность инноваций и цифровых решений для развития и повышения конкурентоспособности в высокотехнологичных и традиционных отраслях Казахстана.

Для горнодобывающего и перерабатывающего сектора выгодно применение международного опыта. При этом адаптация мировых практик таких стран как Канада и Австралия улучшает модернизацию технологических процессов и является факторами успеха.

Геополитическая ситуацию и введение санкции против России стали ускорителем роста экспорта из Казахстана. Изучая экспорт России, Узбекистана, Китая и Кыргызстана зафиксированы основные изменения в 2022 году. В 2021 году экспорт высокотехнологических товаров в Узбекистан и Россию были равны, однако в 2022 экспорт в Россию утроился. При этом экспорт в другие страны остался на более низком уровне рисунок 5.

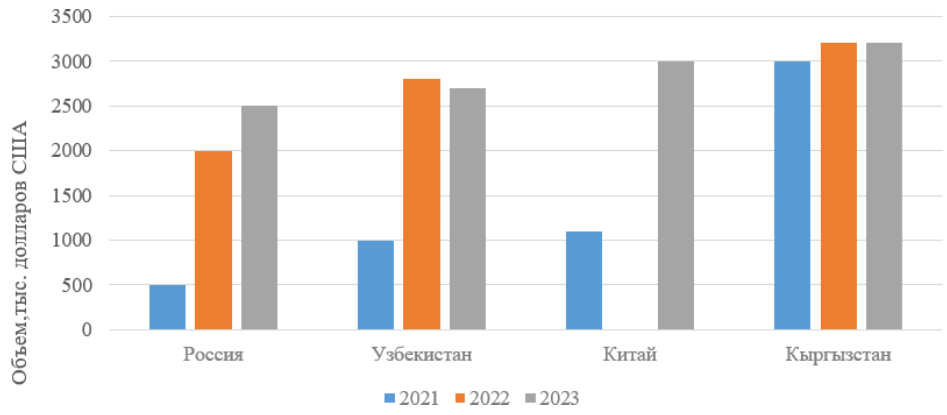


Рис.5 - Динамика экспорта высокотехнологичной продукции Казахстана в разрезе стран России, Узбекистана, Китая и Кыргызстана за 2021-2023 годы

В 2022 году по виден рост реэкспорта. Реальная доля экспортных товаров составила 2,7%. Для реэкспорта составила 40,3 %.

Необходима прозрачность и точность статистических материалов, для того чтобы избежать искажений. Республике Казахстан необходимо развивать собственное производство продукции и снизить зависимость от реэкспорта.

Также необходимо инвестировать в образование и проводить переподготовку кадров. В настоящее время в Республике требуются специалисты в области машиностроения, электроники и IT технологий. Программы STEM-направления, которые осуществляются в научных университетах для обучения работников могут существенно ускорить технологический прогресс [19].

В Казахстане необходимо выполнить следующее:

- проведение торговой политики на внешних и внутренних рынках для уменьшения барьеров с ЕАЭС, Китаем и странами ЦА;

- кооперирование и формирование региональных кластеров, создание производств в приграничных районах и международные взаимодействия для развития товарных производств;

- развитие системы торговых представительств в зарубежных странах для поддержки экспортеров и доступ на локальные рынки, а так-

же внедрение единых стандартов и технических регламентов;

- стимулирование международных отношений и локализация технологий через механизм офсета для выпуска высокотехнологической продукции.

Выполнен проектный офис по продвижению экспорта IT продуктов из числа представителей Национальной палаты предпринимателей РК «Атамекен», Qaztrade, Зерде, Kazakh Export, казахстанская ассоциация ИТ компаний.

Сформирован проектный офис по продвижению экспорта ИТ продуктов и услуг из числа представителей Национальной палаты предпринимателей Республики Казахстан «Атамекен», Qaztrade, Зерде, Kazakh Export, казахстанская ассоциация ИТ компаний [20].

Развитие экспорта ИТ-решений Казахстана требует комплексного подхода. На государственном уровне и местными исполнительными учреждениями ведется работа по наращиванию роста экспорта отечественной продукции, в частности в ИТ-области. Далее необходимо на экспорт будут создавать сервисы, ИТ-фриланс и ИТ- аутсорсинг, продукты, созданные на основе собственных технологий. Важным является просвещение представителей бизнеса о интеллектуальной собственности, как патенты, торговые знаки, авторские права и производственные секреты.

Согласно агентству РИА Рейтинг Казахстан занимает седьмое место по доступности электроэнергии для населения. Невысокая стоимость электроэнергии представляет преимущество для развития электронной промышленности, создавая хорошие условия для производителей.

Учитывая опыт Всемирного банка в 2024 году пересмотрены правила для инновационных грантов при поддержке коммерциализации технологий, технического развития предприятий и ключевых отраслей. Начиная с 2020 года происходит рост, однако в 2022 году инновационная и технологическая трансформация страны считается невысокой. На высокотехнологическую продукцию приходится только 21,8 % в структуре экспорта.

Согласно глобальной урбанизации и конкурентной динамики необходимо создавать условия для привлечения инвестиций в средне – и высокотехнологические секторы. Развитие Индустрии 4.0 трансформирует производственные модели и бизнес-модели, которая обеспечивает возможности для создания высокотехнологической продукции. Современные высокотехнологичные отрасли — авиастроение, атомная энергетика, микроэлектроника и машиностроение и ракетостроение - требуют новых материалов, способных обеспечить качество. Основными ресурсами для такого производства являются редкие и редкоземельные металлы, которые обладают уникальными свойствами, как тугоплавкость и твердость.

Для достижения роста и конкурентоспособности в промышленности Казахстана, а также других отраслях важен переход к технологически усовершенствованной системе. Данный аспект подразумевает развитие цифровизации основных фондов предприятий с акцентом на выпуск высокотехнологической продукции с поставкой на мировые рынки.

Например, в Турции поддержка частного предпринимательства происходит с помощью ассоциации KOSGEB, которая развивает малые и средние предприятия. Таким образом Турция поддерживает инвестиционные проекты на производство товаров с высокой добавленной стоимостью.

Далее существует Концепция «Smart City», которая направлена на развитие города и внедрение ИКТ технологий для повышения качества жизни, эффективности услуг и конкурентоспособности. Благодаря этой концепции в Астане и других городах РК будет применяться высокотехнологические решения для использования ресурсов. Развитие будет строиться на принципах «collaborative innovation»- взаимодействия государства и участников ИТ-рынка, которые нацелены на разработку решений и изменений нормативно-правовой базы.

Усовершенствование выпуска высокотехнологической продукции может быть достигнуто через ключевые моменты:

1. Развитие инфраструктур:

- создание научных центров: разработка новых технологий;

- транспортная и логистическая инфраструктура;

- цифровая инфраструктура: разработка сетей и облачных технологий.

2. Государственная поддержка:

- финансирование и поддержка грантов;

- налоговые льготы: налоговые каникулы и снижение ставок для компаний, которые развивают технологии;

- поддержка стартапов : осуществление проектов;

- образование: профессиональное обучение.

3. Сотрудничество с частным сектором:

- партнёрство с университетами, создание проектов;

- инвестиции в стартапы;

4. Международное сотрудничество:

- привлечение иностранных инвестиций;

- участие в международных выставках.

Данные меры помогут стимулировать производство высокотехнологичной продукции и улучшить конкурентоспособность экономики.

В Казахстане поэтапно внедряется политика промышленно-инновационного развития, которая создает высокоэффективную и ориентированную на экспорт продукцию. Институты развивают регулирование промышленности. Государство напрямую либо косвенно контролирует добычу сырья и изготовление высокотехнологической продукции, что способствует устойчивому развитию. Посредство фонда «Самрук- Қазына» государство участвует в ряде компаний, занимающихся добычей и выпуском продукции, что позволяет обеспечить промышленные проекты сырьём и полуфабрикатами.

Однако инвестиции в НИОКР очень низкие - на уровне 0,12–0,13%, что значительно уступает показателям влияния следующих стран, как Япония, Швеция и Германия. В связи с этим необходимо развивать инновационную деятельность в стране [20-22].

Выводы. Казахстан ориентирован на совершенствование экономик и развитие высокотехнологических отраслей для повышения конкурентоспособности. Сценарное прогнозирование и стратегическое планирование позволяет адаптироваться к будущим вызовам и возможностям.

Для увеличения объема выпуска высокотехнологической продукции В РК требуется комплексное развитие инфраструктуры. При этом ключевыми моментами являются: создание научно-исследовательских центров, развитие транспортной и логистической инфраструктуры, представление льгот и финансирование стартапов. Необходимо модернизировать обрабатывающую промышленность и увеличить инвестиции в эту отрасль. Также требуется качественное обучение кадров, обновление образовательных программ и привлекать инвестиции. Важно развивать международные договора, увеличивать внутреннее производство и снизить зависимость от импорта. Казахстану возможно использовать продукты развития Евразийского экономического союза и сотрудничество с Китаем для расширения экспорта и привлечения иностранных инвесторов для создания высокотехнологической продукции.

Таким образом, одно из важных моментов является развитие инноваций для внедрения передовых технологий и обеспечения конкурентноспособности.

Финансирование. *Исследование выполнено в рамках проекта ИРН BR BR24992789 «Разработка стратегии ускоренной технологической диверсификации и новой промышленной политики Казахстана».*

Литература

1. Бегимбай К. Мырзахмет М. Радошевич С. Сценарное прогнозирование как инструмент стратегического планирования в обрабатывающей промышленности: теоретические основы и методологические подходы//Материалы международной конференции научно-практической конференции «Промышленная политика и развитие обрабатывающей промышленности: новые методологии, зарубежный опыт и концепции для Казахстана- Алматы менеджмент университет, Алматы, 2024 г.- Т.1(1) -С.8-14. DOI10.63881/978-601-7431-79-2.2024.4.001.

2. Кожамсеитова А.С. Кауметова Д.С. Сулейменов Н.С. Кожантов А.У. Этапы и механиз-мы внедрения сценарно-прогнозных подходов для увеличения выпуска высокотехноло-гичной продукции в Казахстане: возможности и вызовы: Материалы международной научно-практической конференции «Промышленная политика и развитие обрабатывающей промышленности: новые методологии, зарубежный опыт и концепции для Казахстана», Алматы менеджмент университет, Алматы, 2024 г.- Т.1(1)- С..92-113. DOI 10.63881/978-601-7431-79-2.2024.4.009.

3. Арсаханова З.А., Гачаев А.М. Применение сценарного прогнозирования в структуре управления инвестиционными проектами//Фундаментальные исследования. -2023. -№ 12.- С.13-19. DOI 10.17513/fr.43526.

4. Международные соглашения. Атамекен-2025. URL: https://atameken.kz .- Дата обращения: 18.03.2025.

5. General Electric Company (США). URL: https://www.pergam.kz .- Дата обращения: 20.03.2025.

6. Барбашова Н. Е., Комарницкая А. Н. Мировой опыт долгосрочного бюджетного прогнозирования: национальный и региональный аспекты//Финансы: теория и практика.- 2021.-Т.25(6).- С.40-53. DOI 10.26794/2587-5671-2021-25-6-40-53.

7. Метод Хольта-Винтерса. URL: https://fnow.ru/ .- Дата обращения 23.03.2025.

8. Мирзахмедова Ш. А. Роль образования в развитии инновационного пространства: Научный журнал. -2019. URL: https://cyberleninka.ru .- Дата обращения: 09.06.2025.

9. Гаврилова Э.Н. Инвестиционные ресурсы горно-металлургического комплекса: особенности управления, анализ состава, структуры и источников формирования//Вестник университета.- 2022.- № 10.- С.185-192. DOI 10.26425/1816-4277-2022-10-185-192.

10. Валь П. В. Краткосрочное прогнозирование электропотребления горного предприятия с использованием однофакторных методов//Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева.- 2022. -№2 (35).- С.12-16.

11. Амирова А.С. Проблемы и перспективы использования big data в промышленности Казахстана: Шестая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня». –Минск.-2020.-С.374-378.2020.

12. Умарова Г.Х., Мергенбаева А.Т., Шінет Г.Г. Қазақстанның технологиялық әлеуеті: бағалау және даму мүмкіндіктері// Экономика: стратегия и практика.-2020.-№ 4(15).- С.187-198. DOI 10.51176/JESP/issue_4_T17.

13. Обрабатывающая промышленность в РК. URL https://adilet.zan.kz .-Дата обращения: 23.03.2025.

14. Машиностроение в Казахстане. URL: https://primeminister.kz/ru/news/reviews/

https://primeminister.kz .- Дата обращения 24.03.2025.

15. Агентство по статистике Республики Казахстан. Статистические данные по горнодобывающей и высокотехнологичной промышленности Казахстана. URL: stat.gov.kz. -2022.- Дата обращения 24.03.2025.

16. Тарасова А. Ю. Сценарное планирование как инструмент формирования регионального стратегического развития: Ученые записки Алтайского филиала Российской академии народного хозяйства при Президенте Российской Федерации.2016. URL: https://cyberleninka.ru .- Дата обращения: 23.03.2025.

17. Rio Tinto. Годовой отчет: инновации и достижения в горнодобывающей промышленности. riotinto.com. - 2021. URL: https://www.riotinto.com/. - Дата обращения 24.03.2025.

18. Казахмыс. Отчет о деятельности и внедрении ИТ-решений в производственные процессы. URL: kazakhmys.com – 2022. - Дата обращения 24.03.2025.

19. ОЭСР. Система образовательных программ и их влияние на высокие технологии в Казахстане. URL: https://www.gostudy.cz .- 2022. - Дата обращения 23.05.2025.

20. Организация Объединённых Наций по промышленному развитию (UNIDO). Доклад о промышленном развитии 2022: Будущее индустриализации в постпандемийном мире. - Вена: UNIDO, 2022. – 256 с. https://www.unido.org - Дата обращения: 09.09.2025.

21. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Adapting to Technological and Societal Disruption/ Paris: OECD Publishing. - 2023. https://www.oecd.org .- Дата обращения: 12.06.2025.

22. Technology and Innovation Report 2023: Opening Green Windows – Technological Opportunities for a Low-Carbon World/ United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). - New York, Geneva: United Nations. - 2023. - 188 p. URL: https://unctad.org. - Дата обращения: 12.06.2025.

References

1. Begimbaj K. Myrzahmet M. Radoshevich S. Scenarnoe prognozirovanie kak instrument strategicheskogo planirovanija v obrabatyvajushhej promyshlennosti: teoreticheskie osnovy i metodologicheskie podhody//Materialy mezhdunarodnoj konferencii nauchno-prakticheskoj konferencii «Promyshlennaja politika i razvitie obrabatyvajushhej promyshlennosti: novye metodologii, zarubezhnyj opyt i koncepcii dlja Kazahstana- Almaty menedzhment universitet, Almaty, 2024 g.- T.1(1) -S.8-14. DOI10.63881/978-601-7431-79-2.2024.4.001.[in Russian]

2. Kozhamseitova A.S. Kaumetova D.S. Suleĭmenov N.S. Kozhantov A.U. Jetapy i mehaniz-my vnedrenija scenarno-prognoznyh podhodov dlja uvelichenija vypuska vysokotehnolo-gichnoĭ produkcii v Kazahstane: vozmozhnosti i vyzovy: Materialy mezhdunarodnoĭ nauchno-prak- ticheskoĭ konferencii «Promyshlennaja politika i razvitie obrabatyvajushheĭ promyshlennosti: novye metodologii, zarubezhnyĭ opyt i koncepcii dlja Kazahstana», Almaty

menedzhment universitet, Almaty, 2024 g.-T.1(1)- S..92-113. DOI 10.63881/978-601-7431-79-2.2024.4.009. [in Russian]

3. Arsahanova Z.A., Gachaev A.M. Primenenie scenarnogo prognozirovanija v strukture upravlenija investicionnymi proektami//Fundamental’ nye issledovanija. -2023. -№ 12.- S.13-19. DOI 10.17513/fr.43526. [in Russian]

4. Mezhdunarodnye soglashenija. Atameken-2025. URL: https://atameken.kz .- Data obrashhenija: 18.03.2025. [in Russian]

5. General Electric Company (США). URL: .- Date of address: 20.03.2025.

6. Barbashova N.E.,Komarnickaja A.N. Mirovoj opyt dolgosrochnogo bjudzhetnogo prognozirovanija: nacional’ nyj i regional’ nyj aspekty//Finansy: teorija i praktika.- 2021. -T.25(6).- S.40-53. DOI 10.26794/2587-5671-2021-25-6-40-53. [in Russian]

7. Metod Hol’ ta-Vintersa. URL: https://fnow.ru .- Data obrashhenija: 23.03.2025. [in Russian]

8. Mirzahmedova Sh. A. Rol’ obrazovanija v razvitii innovacionnogo prostranstva: Nauchnyj zhurnal. -2019. URL: https://cyberleninka.ru .- Data obrashhenija: 09.06.2025. [in Russian]

9. Gavrilova Je.N. Investicionnye resursy gorno-metallurgicheskogo kompleksa: osobennosti upravlenija, analiz sostava, struktury i istochnikov formirovanija//Vestnik universiteta.- 2022.- № 10.- S.185-192. DOI 10.26425/1816-4277-2022-10-185-192. [in Russian]

10. Val’ P. V. Kratkosrochnoe prognozirovanie jelektropotreblenija gornogo predprijatija s ispol’ zovaniem odnofaktornyh metodov//Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M. F. Reshetneva.- 2022. -№2 (35).- S.12-16. [in Russian]

11. Amirova A.S. Problemy i perspektivy ispol’ zovanija big data v promyshlennosti Kazahstana: Shestaja Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA i analiz vysokogo urovnja». –Minsk.-2020.-S.374-378.2020. [in Russian]

12. Umarova G.H., Mergenbaeva A.T., Shinet G.G. Қазақстанның tehnologijalyқ әleueti: bағalau zhәne damu mүmkindikteri// Jekonomika: strategija i praktika.-2020.-№ 4(15).- S.187-198. DOI 10.51176/JESP/issue_4_T17. [in Kazakh]

13. Obrabatyvajushhaja promyshlennost’ v RK. URL https://adilet.zan.kz. Data obrashhenija: 23.03.2025. [in Russian]

14. Mashinostroenie v Kazahstane. URL: https://primeminister.kz .- Data obrashhenija 24.03.2025. [in Russian]

15. Agentstvo po statistike Respubliki Kazahstan. Statisticheskie dannye po gornodobyvajushhej i vysokotehnologichnoj promyshlennosti Kazahstana. URL: stat.gov.kz. -2022.- Data obrashhenija 24.03.2025. [in Russian]

16. Tarasova A. Ju. Scenarnoe planirovanie kak instrument formirovanija regional’ nogo strategicheskogo razvitija: Uchenye zapiski Altajskogo filiala Rossijskoj akademii narodnogo hozjajstva pri Prezidente Rossijskoj Federacii.2016. URL: https://cyberleninka.ru .- Data obrashhenija: 23.03.2025. [in Russian]

17. Rio Tinto. Godovoj otchet: innovacii i dostizhenija v gornodobyvajushhej promyshlennosti. riotinto.com. - 2021. URL: https://www.riotinto.com/. - Data obrashhenija 24.03.2025. [in Russian]

18. Kazahmys. Otchet o dejatel’ nosti i vnedrenii IT-reshenij v proizvodstvennye processy. URL: kazakhmys.com. – 2022.- Data obrashhenija 24.03.2025. [in Russian]

19. OJeSR. Sistema obrazovatel’ nyh programm i ih vlijanie na vysokie tehnologii v Kazahstane. URL: https://www.gostudy.cz .- 2022. - Data obrashhenija 23.05.2025. [in Russian]

20. Organizacija Ob#edinjonnyh Nacij po promyshlennomu razvitiju (UNIDO). Doklad o promyshlennom razvitii 2022: Budushhee industrializacii v postpandemijnom mire. - Vena: UNIDO, 2022. - 256 s. https://www.unido.org - Data obrashhenija: 09.09.2025. [in Russian]

21. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Adapting to Technological and Societal Disruption/ Paris: OECD Publishing. - 2023. https://www.oecd.org .- Дата обращения: 12.06.2025.

22. Technology and Innovation Report 2023: Opening Green Windows – Technological Opportunities for a Low-Carbon World/ United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). - New York, Geneva: United Nations. - 2023. - 188 p. URL: https://unctad.org. - Дата обращения: 12.06.2025.

Сведения об авторах

Кауметова Д.С. - PhD, ассоциированный профессор, Кокшетауский университет им. Шокана Уалиханова, Кокшетау,

Казахстан, e-mail: dkaumetova@shokan.edu.kz;

Сулейменов Н.С, к.т.н - Руководитель образовательной программы «Инжиниринговые технологии» Кызылординский университет им. Коркыт Ата, Кызылорда, Казахстан, e-mail: nurzhan_suleymen@mail.ru

Information about the authors

Kaumetova D.S. – PhD, Associate Professor, Shokan Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan, e-mail: dkaumetova@shokan.edu.kz

Suleimenov N.S.- Candidate of Technical Sciences, associate professor, Kyzylorda University named after Korkyt Ata, Kyzylorda, Kazakhstan, e-mail: nurzhan_suleymen@mail.ru.

МРНТИ 06.52.41 **https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.28-991**

ОБЗОР ПРОМЫШЛЕННЫХ СТРАТЕГИЙ РАЗВИТЫХ СТРАН: ОТ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ К ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

[3]А. Серікқызы✉, [1]Ә.С. Бақтымбет, [2]С.С. Бақтымбет, [3]Д.Ж. Медетов, [3]А.Б. Ахметова
[1]Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
[2]Академия политического менеджмента, Алматы, Казахстан,
[3]ALMAU, Алматы, Казахстан
✉*Корреспондент-автор: a.serikkyzy@almau.edu.kz*

Статья посвящена эволюции промышленной политики от узконаправленных индустриальных стратегий прошлого к современным комплексным подходам, сочетающим поддержку производства, науки, образования и инфраструктуры. Особое внимание уделяется опыту стран Восточной Азии, где активное государственное вмешательство (модель «развивающего государства») способствовало ускоренной индустриализации и технологическому прогрессу. Приведена концепция «летящих гусей», объясняющая последовательную передачу производств между странами региона. Рассматриваются траектории развития промышленной политики в ЕС, США, Японии, Южной Корее и Китае, показаны различия в подходах и институциональных основах. Анализ подчёркивает, что несмотря на разнообразие стратегий, все страны стремятся к внедрению цифровых технологий, инноваций и устойчивому росту в рамках Четвёртой промышленной революции. Работа обобщает основные этапы индустриального развития, подчеркивая переход от трудоёмкого производства к цифровой и интеллектуальной экономике.

Ключевые слова: промышленная политика, индустриализация, государственное регулирование, цифровая экономика, инновации, экономика знаний, модель «летящих гусей».

ДАМЫҒАН ЕЛДЕРДІҢ ӨНЕРКӘСІПТІК СТРАТЕГИЯЛАРЫНА ШОЛУ: ИНДУСТРИЯЛАНДЫРУДАН ЦИФРЛЫҚ ЭКОНОМИКАҒА ДЕЙІН

[3]А. Серікқызы✉, [1]Ә.С. Бақтымбет, [2]С.С. Бақтымбет, [3]Д.Ж. Медетов, [3]А.Б. Ахметова
[1]Қ.Құлажанов атындағы технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
[2]Саяси менеджмент академиясы, Алматы, Қазақстан,
[3]Алматы менеджмент университеті, Алматы, Қазақстан,
e-mail: a.serikkyzy@almau.edu.kz

Мәтін өнеркәсіптік саясаттың тар бағытталған индустриялық стратегиялардан қазіргі заманауи кешенді тәсілдерге дейінгі эволюциясына арналған. Бұл тәсілдер өндірісті, ғылымды, білім мен инфрақұрылымды қолдауды біріктіреді. Ерекше назар Шығыс Азия елдерінің тәжірибесіне аударылған, мұнда белсенді мемлекеттік араласу («дамушы мемлекет» моделі) жедел индустрияландыру мен технологиялық ілгерілеуге ықпал етті. Аймақ елдері арасында өндірісті кезең-кезеңімен беру үдерісін түсіндіретін «ұшып бара жатқан қаздар» тұжырымдамасы келтіріледі. ЕО, АҚШ, Жапония, Оңтүстік Корея және Қытайдағы өнеркәсіптік саясаттың даму жолдары қарастырылып, олардың тәсілдері мен институционалдық негіздеріндегі айырмашылықтар көрсетіледі. Талдау түрлі стратегияларға қарамастан, барлық елдердің Төртінші өнеркәсіптік революция аясында цифрлық технологиялар мен инновацияларды енгізуге және тұрақты өсуге ұмтылатынын көрсетеді. Жұмыста индустриялық дамудың негізгі кезеңдері жинақталып, еңбекке негізделген өндірістен цифрлық және зияткерлік экономикаға көшу ерекшеленеді.

Түйін сөздер: өнеркәсіптік саясат, индустрияландыру, мемлекеттік реттеу, цифрлық экономика, инновациялар, білімге негізделген экономика, «ұшып бара жатқан қаздар» моделі.

OVERVIEW OF INDUSTRIAL STRATEGIES IN DEVELOPED COUNTRIES: FROM INDUSTRIALIZATION TO THE DIGITAL ECONOMY

[3]A. Serikkyzy✉, [1]A.S. Baktymbet, [2]S.S. Baktymbet, [3]D.Zh. Medetov, [3]A.B. Akhmetova

[1]*Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,*
[2]*Academy of Political Management, Astana, Kazakhstan,*
[3]*ALMAU, Almaty, Kazakhstan,*
e-mail: a.serikkyzy@almau.edu.kz

The article is devoted to the evolution of industrial policy from narrowly focused strategies of the past to modern comprehensive approaches that combine support for production, science, education, and infrastructure. Special attention is given to the experience of East Asian countries, where active government intervention (the “developmental state” model) contributed to rapid industrialization and technological progress. The concept of the “flying geese” is introduced, explaining the sequential transfer of production across countries in the region. The development trajectories of industrial policy in the EU, the USA, Japan, South Korea, and China are examined, highlighting differences in approaches and institutional frameworks. The analysis emphasizes that despite strategic diversity, all countries aim to implement digital technologies, foster innovation, and ensure sustainable growth within the context of the Fourth Industrial Revolution. The study summarizes the key stages of industrial development, underscoring the transition from labor-intensive production to a digital and knowledge-based economy.

Keywords: industrial policy, industrialization, state regulation, digital economy, innovation, knowledge-based economy, flying geese model.

Введение. Эволюция промышленных стратегий - это постепенный переход от классической индустриализации к современной цифровой экономике. Теоретические основы этого процесса сформированы как западными, так и азиатскими экономическими школами, дополняясь практическим опытом разных стран. Для научного обоснования эволюции стратегий необходимо объединить обзор ключевых экономических концепций с анализом их прикладного применения.

Ниже рассмотрены основные модели развития, опирающиеся на труды известных экономистов, включая нобелевских лауреатов Д. Стиглица, П. Ромера, Р. Солоу и др., а также идеи азиатских исследователей например, Акамацу Канамэ и проведена сравнительная оценка их реализации в различных регионах. Это позволит выявить, как теоретические подходы трансформируются на практике - от индустриализации через постиндустриальный переход к цифровизации и «умной» индустрии [1].

Материалы и методы. Рассмотрим теоретические модели, западные и азиатские подходы к стратегии промышленного развития национальных экономик.

Западные экономические теории исторически описывали движущие силы индустриального развития и роста. Классическая неоклассическая модель роста Солоу показала, что долгосрочный рост экономики определяется не столько накоплением капитала или трудовых ресурсов, сколько техническим прогрессом. В своей работе Р. Солоу доказал, что именно «технологический остаток» (совокупная факторная производительность) объясняет большую часть роста выпуска на душу населения. По оценкам, до 80% прироста выпуска на душу населения с середины XX века обусловлено технологическим прогрессом. [2]. Этот вывод подчёркивает центральную роль инноваций и знаний: без постоянного притока новых технологий экономика, достигнув насыщения капиталом, перейдёт в стагнацию. Поскольку в модели Солоу технический прогресс экзогенен («падает как манна с небес»), последующие экономисты стремились «открыть эту чёрную шкатулку» и объяснить, за счёт чего возникают инновации.

Новая теория эндогенного роста, развитая П. Ромером, предложила механизм, объясняющий источник технического прогресса. Ромер ввёл знания (идеи) в модель как особый фактор производства, который не подвержен убывающей отдаче. В отличие от обычного капитала, знания являются неисключаемыми *и* неконкурентными*:* их могут использовать многие, и использование знания одним агентом не ме-

шает другим использовать его. Ромер показал, что новые знания не возникают автоматически, а являются результатом целенаправленных R&D-усилий фирм, стимулируемых перспективой прибыли. Благодаря неполной исключаемости знаний каждая новая идея приносит внешние эффекты: она повышает общую производительность экономики сверх выгоды для ее создателя. Таким образом, модель Ромера обосновала постоянный рост, подпитываемый позитивными технологическими внешними эффектами, что стало теоретическим обоснованием перехода к экономике знаний в постиндустриальную эпоху.

Вместе с тем, представители институционального и кейнсианского направлений указывали на ограничения рыночного механизма в обеспечении оптимального промышленного развития. Дж. Стиглиц и другие экономисты показали, что реальные рынки далеки от неоклассического идеала совершенной конкуренции: существуют информационные асимметрии, внешние эффекты, координационные сбои. Эти «рыночные провалы» требуют активной промышленной политики, направленной на поддержку приоритетных отраслей, инноваций и обучения. Исторический опыт подтверждает такую необходимость: государственные индустриальные стратегии сыграли ключевую роль в успешном развитии многих стран [3].

Обсуждение и результаты. Ранние индустриальные политики были узконаправленными и ограничивались несколькими инструментами, тогда как современные стратегии стремятся к более широким целям и используют более разнообразный набор мер . Например, Стиглиц (2015) отмечает, что сегодня промышленная политика охватывает не только поддержку производства, но и развитие науки, образования, инфраструктуры, что отражено в концепциях «создания общества знаний» и «инклюзивного роста». Кроме того, акцент делается на механизмах обучения (learning-by-doing): фирмы и институты учатся эффективно производить лишь через практический опыт). Такая эволюция политики во многом связана с успехами азиатских стран, доказавших на практике эффективность активного государственного участия в индустриальном развитии.

Азиатские экономические подходы к промышленной эволюции формировались под влиянием особого исторического опыта быстрого догоняющего развития. [4]. Концепция «развивающего государства» (Chalmers Johnson и др.) и феномен «восточноазиатского чуда» свидетельствуют, что целенаправленное государственное управление индустриализацией способно обеспечить ускоренный рост. Классической иллюстрацией служит японская модель послевоенного развития, опирающаяся на тесную координацию между государством и бизнесом (через MITI), стратегическое субсидирование экспортоориентированных отраслей и постепенное технологическое *наращивание* в экономике. Японские успехи вдохновили появление модели «летящих гусей», предложенной экономистом Канамэ Акамацу, объясняющей волнообразный перенос промышленного лидерства в Азии Согласно этой парадигме, страны Восточной Азии выстраиваются в иерархический строй, похожий на клин летящих гусей: лидирующая экономика (Япония) осваивает новые высокотехнологичные отрасли и вытесняет старые, передавая менее сложные производства следующим странам в ряду. В результате менее развитые страны догоняют лидера, последовательно проходя через стадии трудоёмкого, капиталёмкого и наукоёмкого производства, каждая - на более высоком технологическом уровне (рис. 1). Такая динамика догоняющего развития объясняет, как «азиатские тигры» (Ю. Корея, Тайвань, Сингапур, Гонконг) в послевоенный период переняли у Японии производство товаров, а затем передали наиболее простые отрасли странам АСЕАН и Китаю [5]. Императив постоянного «промышленного апгрейда» заставляет лидера двигаться вперёд, в то время как следующие за ним страны заполняют освободившиеся ниши. В отличие от неоклассической теории конвергенции, азиатская модель делает упор на активную роль государства и межстрановую диффузию промышленности. Именно такой подход лежит в осно-

ве стратегий, реализованных в Японии и «азиатских тиграх»: защищая внутренний рынок на ранних этапах, инвестируя в образование и технологии, эти страны совершили успешный переход от трудоёмких отраслей (текстиль, сборка электроники) к высокотехнологичным (автостроение, микроэлектроника). В современных условиях Китай продолжил эту традицию, сочетая планирование и рыночные механизмы для стремительного индустриального рывка.

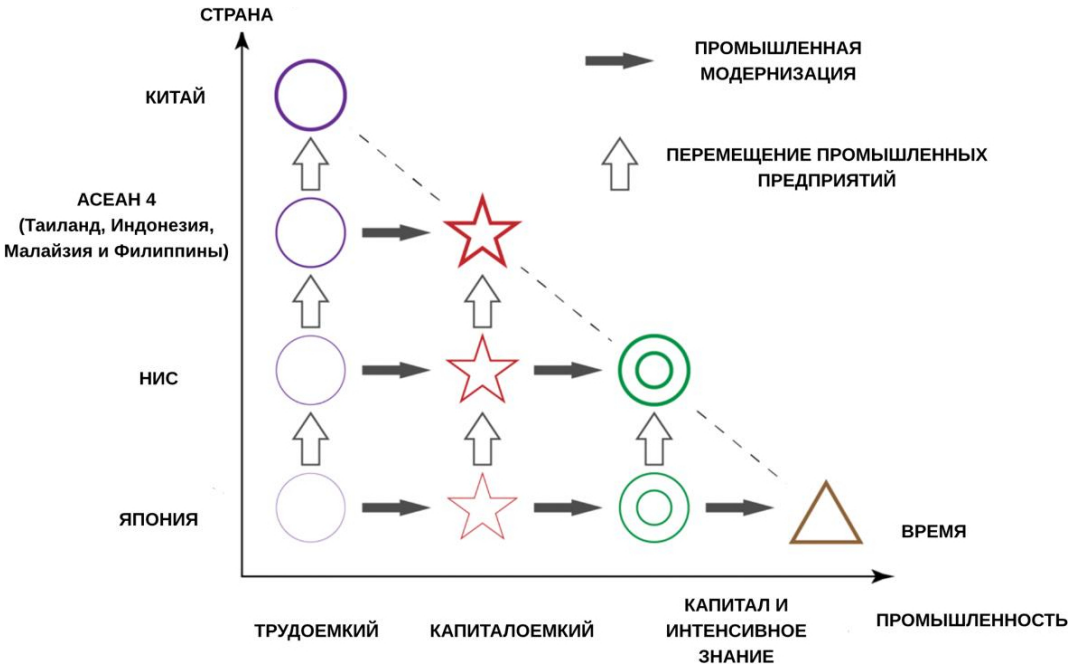


Рис. 1 - «Летящие гуси»: модель поэтапного промышленного развития в Восточной Азии (по Канамэ Акамацу)

Схема наглядно демонстрирует эволюцию промышленности в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Рисунок иллюстрирует, как производственные цепочки перемещаются между странами в зависимости от их специализации и этапа промышленного развития. Лидер (Япония) первым осваивает наукоёмкие отрасли, передавая высвобождающиеся трудоёмкие производства последователям (NIEs - новые индустриальные экономики; ASEAN4 - следующая группа стран Юго-Восточной Азии; Китай – догоняющий лидер). Стрелками показано продвижение технологий вверх по иерархии и релокация производств вниз по иерархии стран. НИС - новые индустриальные страны, такие как Южная Корея, Тайвань, Гонконг, Сингапур, перешедшие от трудоёмких к высокотехнологичным производствам. [6]. АСЕАН - 4 - страны Юго-Восточной Азии Индонезия, Малайзия, Таиланд, Вьетнам, привлекающие трудоёмкие производства из-за низких затрат. Япония - пример перехода к капитало- и наукоёмким отраслям (робототехника, микроэлектроника).

Обобщая теоретические взгляды, эволюция промышленности проходит ряд этапов. Вначале индустриализация характеризуется развитием фабричного производства, урбанизацией, ростом доли промышленности в ВВП и занятости. По мере насыщения спроса на базовые промышленные товары и повышения доходов экономика вступает в стадию постиндустриального перехода*:* доля производства снижается, уступая место сектору услуг и информационным технологиям. С. Кузнец, анализируя «современный экономический рост», отмечал типичный для всех развитых стран сдвиг: «основные аспекты структурных изменений включают отход от сельского хозяйства к несельскохозяйственной деятельно-

сти и, в новейшее время, отход от промышленности в сторону услуг» Иными словами, промышленно развитые страны после достижения высокого уровня дохода неизбежно переживают деиндустриализацию - сокращение доли промышленности - как результат дальнейшего развития (это явление экономисты обозначают термином «кривая Кузнеца» применительно к структуре экономики). Однако деиндустриализация не означает упадка экономики: напротив, это свидетельство перехода на новую технологическую базу.

Цифровизация экономики в конце XX - начале XXI вв. ознаменовала третий крупный этап – широкое внедрение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и превращение знаний в главный фактор производства. Наконец, в последнее десятилетие говорят о этапе «умной» промышленности», или Четвёртой промышленной революции.

Понятие *Industry 4.0* (Индустрия 4.0) обобщает совокупность современных технологий - от интернета вещей (IoT) и больших данных до искусственного интеллекта и робототехники, трансформирующих производство в киберфизические системы К. Шваб популяризировал этот термин в 2016 г., подчёркивая беспрецедентно высокие темпы технологического прогресса в XXI веке. [7]. Каждая последующая стадия развития дополняет предыдущую: например, цифровизация повышает эффективность как сферы услуг, так и традиционного производства (через автоматизацию и анализ данных), а «умные фабрики» интегрируют цифровые технологии непосредственно в производственные процессы. В таблице 1 суммированы основные этапы эволюции промышленных моделей – от индустриальной экономики к экономике знаний.

Каждый этап характеризуется сменой ведущего сектора и факторов роста, отражённой в экономических теориях и практических стратегиях.

Рассмотрим в сравнительном аспекте анализ промышленных стратегий ЕС, США, Японии, Кореи, Китая.

Практическая реализуемость вышеперечисленных моделей проявилась по-разному в регионах мира. Страны Запада (США, Европа) и Восточной Азии выбрали отличающиеся траектории промышленной политики, основанные на своих исторических, социальных и институциональных особенностях. Рассмотрим сравнительно ключевые стратегии в Европейском союзе, США, Японии, Южной Корее и Китае и их результаты при переходе к современной цифровой экономике.

Европейский Союз (ЕС) после Второй мировой войны воплотил в себя сочетание рыночных механизмов и координирующей роли государства, что близко к модели социально-рыночной экономики. В послевоенной Западной Европе активно применялись элементы планирования и стимулирования индустриализации (например, французские индикативные планы, германская поддержка развития машиностроения).

В 1970-80-е гг., с наступлением постиндустриальной эпохи, многие страны Европы испытали деиндустриализацию - так, доля обрабатывающей промышленности в ВВП Франции и Великобритании снизилась до ~11% к 2010 г. [8].

В ответ стратегии фокусировались на развитие высокотехнологичных услуг и производств, интеграции внутренних рынков и региональной политике выравнивания. ЕС сделал ставку на инновационные кластеры и региональные инновационные системы*:* на уровне союзных программ финансировались центры исследований и развития, поощрялись кооперация вузов с промышленностью, мобилизованы фонды для отстающих регионов. Эта политика основывалась на понимании, что локальные инновационные экосистемы – двигатель конкурентоспособности в глобальной экономике, что согласуется с концепцией Портера о кластерах

Например, в ЕС создано множество технопарков (Кембриджский кластер в Британии, Мюнхенский в Германии и др.), а общеевропейские программы (Horizon 2020 и др.) стимулируют трансграничное сотрудничество в науке и технологиях. Сегодня стратегии ЕС направлены на цифровую трансформацию («Цифровой единой рынок»), экологическую модернизацию

промышленности (Европейский *Green Deal*) и развитие индустрии 4.0, при этом сохраняется акцент на социальной устойчивости и регуляторах (антимонопольная политика, стандарты и т.д.). г. [9].

Таблица 1 - Эволюция моделей развития экономики: от индустриального к цифровому и инновационному укладам

Этап развития	Период	Ключевые характеристики	Примеры и концепции
Индустриализация	XVIII–XX вв. (промышленная революция, индустриальная эпоха)	Механизация и массовое фабричное производство; урбанизация; рост доли промышленности в экономике. Основной фактор роста - физический капитал и труд.	**Индустриальные революции 1.0–3.0** (паровая энергия, электричество, конвейер, автоматика); модель Солоу (рост за счёт накопления капитала и экзогенного техпрогресса).
Постиндустриальный переход	Вторая половина XX в.	Снижение относительной роли промышленности, рост сектора услуг; увеличение значения образования, науки, информации. Экономика насыщается потребительскими товарами, меняется структура занятости (сдвиг в сервисную сферу).	**«Общество постиндустриальное»** (Д. Белл, 1973); сдвиг Кузнеца: от промышленности к услугамjournals.openedition.org; концепция «экономики знаний».
Цифровизация экономики	Конец XX в. – начало XXI в.	Широкое внедрение компьютеров, интернета и цифровых технологий во все отрасли. Увеличение производительности за счёт ИКТ, появление электронных рынков, платформ, глобальных информационных сетей. Знания и данные становятся ключевым ресурсом, появляются новые бизнес-модели.	**Третья промышленная революция** (информационная эра); теория эндогенного роста (П. Ромер: знания как двигатель ростaideasforindia.in); глобализация и аутсорсинг производств.
«Умная» индустрия (Industry 4.0)	2010-е гг. – н.в.	Интеграция цифровых и физических технологий производства. Автоматизация на базе искусственного интеллекта, роботизированные системы, интернет вещей на заводах (smart factories). Гибкие производственные сети в реальном времени, персонализация продукции, переход от массового производства к массовой кастомизации. Сокращение циклов инноваций.	**Четвёртая промышленная революция** (К. Шваб, 2017 en.wikipedia.org); кибер-физические системы в промышленности; концепция Smart Industry (умные фабрики, предиктивная аналитика и обслуживание); Big Data, IoT, AI в производстве.
Инновационные кластеры	1990-е гг. – н.в. (как структурный элемент современной экономики)	Географическая концентрация высокотехнологичных фирм, университетов и исследований, образующих экосистемы инноваций. Синергия от близости компаний, обмена знаниями и наличия квалифицированной рабочей силы. Кластеры дают конкурентные преимущества за счёт локализованного знания и кооперации.	**Концепция кластеров** (М. Портер, 1990): «устойчивые конкурентные преимущества в глобальной экономике всё больше определяются локальными факторами- знаниями, связями, мотивацией, недоступными для удалённых конкурентов»oecd.org. Примеры: Кремниевая долина (США), технополис Цукуба (Япония), Силиконовое плато (Шэньчжэнь, Китай).

Соединённые Штаты Америки (США) исторически придерживались более либерального, рыночно-ориентированного подхода. Прямое государственное планирование промышленности было минимальным, основной упор делался на предпринимательство, конкурентные рынки и защиту частной собственности. Тем не менее, государство косвенно сыграло важную роль в технологическом прорыве США через масштабные инвестиции в науку и оборонные исследования во время холодной войны (программа NASA, DARPA, создание интернета и пр.). Это создало базу для появления инновационных отраслей и лидеров рынка. Американская модель демонстрирует эффективность кластерного развития без централизованного управления*:* знаменитая Кремниевая долина возникла стихийно вокруг Stanford University, воспользовавшись свободой предпринимательства, венчурным финансированием и культурой стартапов. Гибкость рынка труда, доступ к капиталу и конкуренция позволили быстро коммерциализировать цифровые

технологии, что в 1990-2000-е вывело США в лидеры мировой цифровой экономики (доминирование компаний Big Tech). В 1980–90-х доля промышленности в американской экономике также снижалась (до ~13% ВВП к 2010 г., но это компенсировалось ростом секторов ИТ, финансов и других услуг.

В последнее время, столкнувшись с конкуренцией Азии, США частично возвращаются к элементам индустриальной политики - например, принята стратегия реиндустриализации в высокотехнологичных отраслях (законы о стимулировании производства полупроводников и электромобилей, поддержка локального производства с целью снижения зависимости от импорта). Тем не менее, в целом американский подход остаётся приверженным принципам свободного рынка, дополняемого инвестициями в R&D и образованием. Это создало парадокс: США - один из лидеров по инновациям и производительности, но ряд традиционных отраслей (сталелитейная, текстильная) переместились за рубеж, что вызывает социально-экономические проблемы (структурная безработица в «Ржавом поясе» и рост неравенства).

Япония - яркий пример восточноазиатской стратегии опережающего развития под руководством государства. Начиная с реформ Мэйдзи и особенно в послевоенный период, Япония осуществляла целенаправленную индустриальную политику: министерство MITI определяло приоритетные отрасли (сталелитейную, автомобильную, электронику и др.), ограничивало конкуренцию на внутренних рынках для накопления ресурсов национальными чемпионами, субсидировало экспортные кредиты и трансфер технологий. Такая политика, основанная на концепции «обучения посредством экспорта» (export-led learning), позволила Японии совершить рывок от трудоёмкого производства к высокотехнологичному в течение 1950–1970-х гг.

В 1980-х Япония стала второй экономикой мира, образцом «качественного роста», где конкурентоспособность достигалась через непрерывное улучшение процессов (кайдзен), высокое качество и долгосрочное инвестирование фирм (кейрецу). Однако успех имел и побочные эффекты: к 1990-м экономика столкнулась с перенакоплением мощностей и финансовым пузырём, что привело к «потерянному десятилетию».

Тем не менее, японская промышленная модель эволюционировала – сейчас Япония ориентируется на «общество 5.0», интегрируя принципы индустрии 4.0 для решения социальных проблем (старение населения, энергобезопасность). Страна сохраняет сильный промышленный базис (машиностроение, робототехника), но доля промышленности снизилась с >30% ВВП в 1970-е до ~19% к 2010 г., в то время как сектор услуг и высоких технологий вырос Японский опыт подтвердил эффективность кластеров (напр., автокластер в Тойоте, электроника в Осаке) и важность долгосрочного планирования. Япония также стала «лидирующим гусём» азиатского региона, передав эстафету промышленного роста своим соседям.

Южная Корея во многом повторила японский путь, но с опорой на несколько крупных промышленных групп (*чеболей*) и более жёстким государственным контролем на ранних стадиях. С 1960-х по 1980-е Республика Корея прошла путь от аграрной бедной страны до индустриальной державы («корейское экономическое чудо»). Правительство ген. Пак Чон Хи внедрило пятилетние планы, ориентированные на экспортно-ориентированную индустриализацию: предоставлялись льготные кредиты и защита компаниям, добившимся экспортных успехов (Samsung, Hyundai и др.).

Эта стратегия соответствовала азиатской модели: трудоёмкие отрасли (текстиль) быстро сменились капиталоёмкими (судостроение, автомобили), затем наукоёмкими (полупроводники, потребительская электроника).

К 1990-м Южная Корея вошла в группу наиболее технологически развитых экономик. Доля промышленности достигала ~30% ВВП в 1980-х, затем начала снижаться, но остаётся относительно высокой – около 25% в 2019 г.

Сегодня Южная Корея фокусируется на инновациях и цифровой экономике: правительство

продвигает концепцию «Creative Economy», стимулирует стартапы, инвестирует в 5G, ИИ и технологии Industry 4.0, одновременно поддерживая мощные промышленно-производственные кластеры (автомобилестроение, электроника).

Таким образом, корейская модель сочетает наследие плановой индустриализации (чеболи всё ещё доминируют, а госинвестиции значительны) с адаптацией к новым условиям глобальной конкуренции и технологического прогресса.

Китай представляет особый случай - гибридную модель социалистической рыночной экономики. С конца 1970-х, после начала реформ Дэн Сяопина, Китай совершил беспрецедентную по масштабу индустриализацию, опираясь на дешёвую рабочую силу и приток иностранных инвестиций. Создание специальных экономических зон, привлечение технологий из Японии, Тайваня, Гонконга позволили Китаю стать «фабрикой мира» в 1990–2000-е годы.

Ключевая стратегия - «постепенные реформы»: государство сохраняло контроль над стратегическими секторами и финансами, но одновременно поощряло рыночную конкуренцию и экспорт. Результат – взрывной рост промышленного производства и экспорта. К 2020 г. Китай по объёму промышленного выпуска занял первое место в мире, превзойдя суммарно следующих девять крупнейших производителей.

По сути, КНР стала единственной «супердержавой производства», сосредоточившей в себе более 28% мирового производства. Это стало возможным благодаря масштабной промышленной базе (от стали и текстиля до электроники), активно перенятой у развитых стран.

В последнее десятилетие Китай смещает акцент с количественного роста на качественный: национальная программа «Made in China 2025» нацелена на локализацию и развитие высоких технологий (робототехника, авиация, биофармацевтика и др.), создание собственных инновационных кластеров (напр., технологические хабы в Шэньчжэне, Гуанчжоу, Чэнду).

Также реализуется стратегия цифровой экономики: Китай лидирует по масштабам e-commerce, финтеха, числу интернет-пользователей. Государство выступает активным участником, инвестируя в инфраструктуру (5G, высокоскоростные железные дороги), защищая стратегические отрасли и продвигая инициативу «Цифровой Шёлковый путь».

Китайская модель сочетает планирование (пятилетние планы остаются руководством действий) с конкуренцией между провинциями и фирмами, что создаёт уникальный драйвер развития. Благодаря этому Китай совершил одновременный переход и через индустриализацию, и в цифровую эпоху в рамках одного поколения.

Таблица 2 - Сравнение промышленных стратегий и текущих приоритетов в ЕС, США, Японии, Южной Корее и Китае.

Регион / страна	Историческая стратегия	Современный фокус	Результаты и вызовы
1	2	3	4
ЕС (Евросоюз)	Социально-рыночная модель: сочетание рынка и госполитики. После 1945 г. – реконструкция промышленности (план Маршалла), развитие общего рынка. Частичное планирование (Франция), координация на уровне интеграции (ЕОУС, ЕЭС). Постепенная деиндустриализация в 1980–90-х, рост услуг.	Индустрия 4.0 и «зеленая» промышленность. Цифровой единый рынок, инвестиции в RD через программы ЕС. Поддержка кластеров и малых инновационных фирм. Политика декарбонизации производства.	Высокий уровень технологий (Германия – машиностроение, автоматика). Сильные позиции в автомобилестроении, химии, аэрокосмической отрасли (Airbus). Вызовы: фрагментация национальных политик, конкуренция со стороны США и Китая, необходимость единой промышленной стратегии ЕС. Доля промпроизводства снижается в старых членах ЕС, но восточноевропейские страны стали новыми индустриальными базами в ЕС.

США	Либеральный рынок, минимум прямой промышленной политики. Опора на частный сектор. Косвенная поддержка: госзаказы (оборона), фундаментальные исследования (NASA, DARPA). Быстрый рост ИКТ-сектора с 1980-х. Деиндустриализация «Ржавого пояса» в 1970–2000-х из-за вывода производств в страны с низкими издержками.	Реиндустриализация высокотеха. Стимулы для возвращения производства (программа Make in America). Закон о чипах (CHIPS Act 2022) для развития полупроводниковой отрасли. Поддержка инфраструктуры и энергетической трансформации. Однако основной упор – на инновации в цифровом секторе, финансируемые венчурным капиталом.	Лидирующие позиции в цифровой экономике (Big Tech, программное обеспечение, соцсети). Сохраняются сильные компании в авиа-космической (Boeing, SpaceX) и оборонной сфере. Вызовы: усиление конкуренции Китая в производстве, рост социального неравенства, износ инфраструктуры. ВВП на душу высок, но промышленность 15% ВВП; стратегически критичные цепочки (например, редкоземельные материалы, некоторые компоненты) зависят от импорта, что стимулирует пересмотр политики.
Япония	«Развивающее государство»: активная промышленная политика (MITI). Защита внутреннего рынка, целевое кредитование концернов, поэтапный переход от лёгкой промышленности к тяжёлой и электронной. Экспортно-ориентированное развитие («японское чудо» 1950–80-х). Тесные производственные сети (кейрецу), пожизненный найм – стабильность для инвестиций.	Сохранение промышленного лидерства через роботов и автоматизацию. Концепция «Общество 5.0»: интеграция ИТ, ИИ для решения соцпроблем (медицина, транспорт). Развитие умных производств (авто с автопилотом, умная электроника). Интернационализация: перенос частей производств за рубеж (Юго-Восточная Азия) при сохранении RD дома.	По-прежнему мировой лидер в автомобилестроении (Toyota №1), робототехнике (~47% мирового рынка промышленных роботов), высокоточных станках. Экономика стагнирует в 1990–2000-х (низкий рост ВВП, дефляция), но уровень технологий очень высок. Вызовы: старение населения, высокая задолженность госбюджета, необходимость иммиграции или автоматизации для поддержания рабочей силы. Промышленность ~21% ВВП (2020), сильный экспортный потенциал при слабом внутреннем спросе.
Южная Корея	Госкапитализм, опора на чеболи. Пятилетние планы индустриализации (с 1962), ставка на экспортоориентированные отрасли: сначала текстиль, затем судостроение, автомобили, электроника. Государство направляло банки и инвестиции в группы Samsung, Hyundai и др. К 1990-м – полноценная индустриальная экономика, член ОЭСР.	Инновационная экономика. Стратегия Creative Economy: развитие стартап-экосистем, поддержка малого бизнеса для снижения доминирования чеболей. Инвестиции в исследовательские кластеры (например, в городе Тэджон – «Долина Кремния» Кореи). Акцент на ICT и цифровые услуги (южнокорейские фирмы лидируют в 5G, онлайн-играх, e-commerce). Госполитика «Индустрия 4.0» для производства будущего (смарт-заводы, ИИ).	Корея – один из мировых лидеров по инновациям (1-е место в индексе Bloomberg 2021). ТНК Samsung – ведущий производитель микрочипов, дисплеев; Hyundai – в топе автопроизводителей. Высокая доля НИОКР (~4.5% ВВП – одна из самых высоких). Вызовы: перегрев финансового сектора (кризис 1997 показал уязвимость), зависимость от экспорта и мировой конъюнктуры, необходимость диверсификации экономики (сфера услуг относительно отстаёт). Промышленность ~28% ВВП, но тенденция к снижению, рост роли креативных индустрий.
Китай	Социалистическая индустриализация с рыночными элементами. Модель «реформ и открытости» (с 1978): привлечение иностранных инвестиций, создание совместных предприятий, особых экономических зон (Шэньчжэнь и др.). Массовое строительство инфраструктуры, электроэнергетики. Дешёвая рабочая сила + иностранные технологии = стремительный рост производства во всех отраслях (от одежды до электроники). Госпредприятия сосуществуют с частными, КПК задаёт общую стратегию через планы.	Импортозамещение высоких технологий и глобальная экспансия. Программа Made in China 2025: локализация производства робототехники, авиакосмической, медицинской техники, электромобилей и др. Развитие цифрового сектора: доминирование на внутреннем рынке IT-гигантов (Alibaba, Tencent, Huawei), продвижение китайских технологий за рубеж (азиатские и африканские рынки). Инвестиции в науку: лидерство по числу научных публикаций и патентов в ряде областей. Госконтроль над данными и цифровыми платформами для нацбезопасности.	К 2020-м Китай - № 1 в мировом производстве (около 30% мирового промпроизводства); крупнейший экспортер промышленной продукции. Созданы национальные чемпионы в высокотехе (Huawei – телеком, DJI – дроны, CATL – батареи). Страна быстро наращивает присутствие в отрасли ИИ, квантовых вычислений. Вызовы: технологическая зависимость в некоторых областях (полупроводники – пока уязвимое место из-за санкций США), старение населения и рост зарплат (снижение прежних конкурентных преимуществ), экологические проблемы индустриального роста. Стратегия «двойного цикла» призвана сбалансировать экспорт и внутренний спрос.

Примечание: составлено по данным [10]

Несмотря на различия, наблюдаются сходные тенденции. Все рассмотренные регионы осознают критическую важность инноваций и цифровых технологий для поддержания конкурентоспособности в XXI веке. Европа и США, имея постиндустриальную структуру, концентрируются на возрождении промышленности на новой технологической основе, развитии устойчивых и умных производств. Япония и Корея продолжают курс на высокотехнологичную индустрию, инвестируя в роботизацию и ИИ. Китай и другие крупные развивающиеся экономики пы-

таются избежать «ловушки среднего дохода» через технологическое обновление и создание собственных инновационных экосистем. В таблице 2 приведено сравнение ключевых черт промышленных стратегий в указанных регионах.

Западные экономики трансформируют прежние индустриальные базы через инновации и сервисы, тогда как восточноазиатские страны прошли стремительную индустриализацию под эгидой государства и теперь также смещают фокус на цифровые и наукоёмкие направления.

Выводы. Таким образом, теоретический и практический анализ показывает, что промышленная политика и стратегии развития претерпели существенную эволюцию. Классические модели индустриализации, ориентированные на накопление капитала и массовое производство, уступили место постиндустриальным моделям, где знания, инновации и цифровые технологии стали основными движителями роста. Западные экономические теории (Солоу, Ромер, Стиглиц и др.) объяснили необходимость технологического прогресса и эндогенных инноваций, а азиатский опыт дал примеры активного государственного вмешательства и координации развития. В разных регионах мира сложился свой баланс рынка и государства: от либеральной модели США до дирижистских моделей Восточной Азии. Тем не менее, в условиях наступления цифровой экономики различия сглаживаются - инвестиции в исследования, образование, цифровую инфраструктуру стали приоритетом повсеместно.

Современная промышленная стратегия сочетает теоретические наработки о важности инновационных экосистем, кластеров, человеческого капитала с лучшими практиками (гибкость рынков, но при стратегическом участии государства там, где рынок терпит неудачи).

Финансирование. *Исследование* ***выполнено в рамках проекта «Разработка стратегии ускоренной технологической диверсификации и новой промышленной политики Казахстана», финансируемого Комитетом по науке*** *Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24992789).*

Литература

1. Nilsson L.J., Åhman M., Vogl V., Lechtenböhmer S. Industrial Policy for a Well-Below Degrees Celsius World: The Role of Basic Material Industries // Green Growth and Decarbonization of Energy Systems in a Changing World. - Kanagawa: Institute for Global Environmental Strategies. - 2018. - P.26-31 DOI 10.13140/RG.2.2.17199.43688.

2. Kara M. Critique of New Growth Theories 1: Can New Growth Theories be a Good Substitute of Development Economics? An Approach in Terms of Developing Countries // Izmir Review of Social Sciences. -2016. - Vol.3 (2). - P.25-34.

3. Di Tommaso M., Prodi E., Di Matteo D., Barbieri E. Structural change and its discontents// Structural Change and Economic Dynamics.-2024.- Vol.72.- P.438 - 455. DOI 10.1016/j.strueco.2024.12.009

4. Warburton D. Before the IMF: The Economic Implications of Unintentional Structural Adjustment in Ancient Egypt // Journal of the Economic and Social History of the Orient.- 2000.- - Vol.43(2). - P.65-131. DOI 10.1163/156852000511240.

5. Zhang X., Zhang Z. Interaction Effects of R&D Investment, Industrial Structure. Rationalization and Economic Growth in China Based on the PVAR Model// Sustainability. - 2022. - Vol.15(1):545. DOI 10.3390/su15010545.

6. Ino J., Murtin F., Shinwell M. OECD. Science, Technology and Innovation Outlook 2023//Paris: OECD Publishing. -2023. URL: https://www.oecd.org/sti/. - Date of access: 09.06.2025.

7. Schwab K. The Global Competitiveness Report 2019 // Geneva: World Economic Forum. - 2019.- 643 p. ISBN 978-2-940631-02-5.

8. World Bank. World Development Indicators 2023 / Washington, D.C.: World Bank. - 2023. URL: https://data.worldbank. - Date of access: 09.06.2025.

9.Tagliapietra S., Veugelers R. A Green Industrial Policy for Europe//Bruegel.- 2020.- P.17-22. - 89 p. ISBN 978-9-078910-50-3

10. Juhász R., Lane N., Rodrik D. The New Economics of Industrial Policy // Annual Review of Economics. - 2024. - Vol.16. - P.213- 242. DOI 10.1146/annurev-economics-081023 024638.

Сведения об авторах

Серікқызы А.-PhD,ассоциированныйпрофессор,ALMAU,Алматы,Казахстан,e-mail: a.serikkyzy@almau.edu.kz;

Бақтымбет Ә.С. - к.э.н., доцент, научный руководитель проекта, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: asembaktymbet@gmail.com;

Бақтымбет С.С.- к.э.н.,доцент,Академия политического менеджмента, Астана, Казахстан, e-mail: saule_sbs@mail.ru;

Медетов Д.Ж. - PhD, профессор практики, ALMAU, Алматы, Казахстан, e-mail: d.medetov@almau.edu.kz;

Ахметова А.Б.- студент, ALMAU, Алматы, Казахстан, email: Adeliya0730@gmail.com.

Information about authors

Serikkyzy A.- PhD, associate professor, ALMAU, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.serikkyzy@almau.edu.kz;

Baktymbet A.S. - c.e.s., assistant professor, head of the project, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: asembaktymbet@gmail.com;

Baktymbet S.S.-c.e.s, assistant professor, Academy of Political Management, Astana, Kazakhstan, e-mail: saule_sbs@mail.ru;

Medetov D.Z - PhD, professor of practice, ALMAU, Almaty, Kazakhstan, e-mail: d.medetov@almau.edu.kz;

Akhmetova A.B. –student, ALMAU, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Adeliya0730@gmail.com.

Редактор: Оспанова М.К.
Верстка: Ундасынов Р.Е.
Подписано в печать: 29.09.2025 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