

Қ. ҚҰЛАЖАНОВ
АТЫНДАҒЫ
ҚАЗАҚ ТЕХНОЛОГИЯ
ЖӘНЕ БИЗНЕС
УНИВЕРСИТЕТІ

K. KULAZHANOV
KAZAKH
UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY
AND BUSINESS

КАЗАХСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГИИ И
БИЗНЕСА ИМЕНИ
К. КУЛАЖАНОВА

KAZ | UTB
ХАБАРШЫСЫ | ВЕСТНИК | VESTNIK

№ 3 (24) - 2024

ҚазТБУ хабаршысы

Вестник КазУТБ

Vestnik KazUTB



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

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

№ 3 (24) - 2024

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 - 2024
Astana - 2024

Бас редактор: С.Н.Байбеков

техн. ғыл. докторы, профессор «ҚазТБҰ» АҚ Президент-ректоры

Бас редактордың орынбасары: М.Ч.Төлтабаев

техн. ғыл. докторы, профессор

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)

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

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

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

Жылысбаева Р.О. т.ғ.д., профессор (Қазақстан)

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)

Мыррин 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)

Айбульдинов Е.К. философия докторы (PhD), (Қазақстан)

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.kz

Главный редактор: С.Н.Байбеков

д.т.н., профессор, Президент-ректор АО «КазУТБ»

Заместитель главного редактора: М.Ч. Тултабаев

д.т.н., профессор

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)

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

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

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

Жилисбаева Р.О. д.т.н., профессор (Казахстан)

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)

Айбульдинов Е.К. доктор философии (PhD), (Казахстан)

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.: (7172)72-58-12(134), e-mail: vestnik@kaztbu.kz

© **Казахский университет технологии и бизнеса К.Кулажанова**

Chief editor: S.N.Baybekov

Doctor of Technical Sciences, Professor, «President-rector of JSC KazUTB»

Deputy editor: M.Ch.Tultabaev

Doctor of Technical Sciences, *Professor*

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)

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)

Zhilisbayeva R.O. Doctor of Technical Sciences, Professor (Kazakhstan)

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)

Aibuldinov Ye.K. Doctor of Philosophy (PhD), (Kazakhstan)

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.: (7172)72-58-12 (134), e-mail: vestnik@kaztbu.kz

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

Информационно-коммуникационные и химические технологии

1 Информационно-коммуникационные технологии	2
Д.К. Даркенбаев, Г.З. Зиятбекова, А. Алтыбай, Н.О. Мекебаев, Д.С. Жамангарин <i>ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ</i>	2
К. Akishev, A. Tulegulov, D. Zhamangarin, Z. Nurtai, E. Ospanov <i>EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF USING THE SOFTWARE PRODUCT "ASSISTANT FOR THE PREPARATION OF TEST TASKS" TO TEST THE KNOWLEDGE OF STUDENTS</i>	13
А.Ж. Танирбергенов, С.К. Серикбаева, Б.У. Бөбеева, Ш.Е. Ахметжанова, А.Д. Абдувалова <i>ТАБИҒИ ТІЛДЕ ПАЙДАЛАНУШЫ ИНТЕРФЕЙСТЕРІН ҚҰРУ ӘДІСТЕРІ</i>	27
А.Т. Мазакова, Ш.А. Джомартова, Т.Ж. Мазаков, Г.Ч. Тойкенов, М.С. Алиаскар <i>ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА</i>	42
Г.И. Жолдангарова, М.Н. Калимолдаев, В.Б. Барахнин, Г.З. Зиятбекова, М.Т. Аршидинова <i>РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ</i>	51
А.Т. Mazakova, Sh.A. Jomartova, T.Zh. Mazakov, G.Ch. Toikenov, M.S. Aliaskar <i>OPTIMAL CONTROL OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE</i>	63
Ү. Mardenov, Zh. Iztaev, Hu Wen-Tsen, D. Mardenova, D. Baumuratova <i>ANALYSIS OF REAL-WORLD AND SIMULATION MODELS AND ALGORITHMS FOR DETECTING ATTACKS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS</i>	71
А.С. Сейтенов, Т.К. Жукабаева, S. Al-Majeed, C. Wolff <i>РАЗРАБОТКА МИС СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ ДЛЯ ЗАПИСИ К МЕДИЦИНСКИМ СПЕЦИАЛИСТАМ</i>	84
Д.С. Жамангарин, С.А. Алтынбек, А.Д. Тулегулов, К.М. Акишев, Н.П. Сапарходжаев <i>ЖОЛ ҚИЫЛЫСТАРЫНДАҒЫ КӨЛІК ҚҰРАЛДАРЫНЫҢ АҒЫНЫН НАҚТЫ УАҚЫТ РЕЖИМІНДЕ ДИНАМИКАЛЫҚ РЕТТЕУ</i>	95
Е.С. Кубегенов, А.Д. Кубегенова, А.Г. Жахиена, Г.Ш. Утешева, А.В. Нестеров <i>ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ӘЛЕУМЕТТІК МАҢЫЗЫ БАР АУРУЛАРДЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУ</i>	105
Ж.С. Есенғалиева, Ж.О. Оралбекова, М.К. Турарова <i>МЕДИЦИНА САЛАСЫНДА КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУ ӘДІСТЕРІНІҢ НЕГІЗІНДЕ ГРАФИКАЛЫҚ АҚПАРАТТЫ ӨНДЕУ</i>	119
А. Адамова, Т. Жукабаева <i>ЗАТТАР ИНТЕРНЕТІ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫНЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН ҰЙЫМДАСТЫРУДА ФЕДЕРАТИВТІ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ</i>	130
Б. Рысбекқызы, Д.Т. Кожанова, Г.К. Кабиева, Ә.Ж. Изат, Л.Б. Кадырова, А.М. Леонтьева <i>SQL-ИНЪЕКЦИЯЛАРЫНАН ВЕБ-ҚОСЫМШАЛАР ДЕРЕКТЕР ҚОРЫНЫҢ ОСАЛДЫҒЫН ЖӘНЕ ҚОРҒАНЫСЫН ЗЕРТТЕУ</i>	140
А.Тельман, Д.Р.Рашидинов, М. Тұрдалыұлы <i>МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ</i>	153
М.Г. Жартыбаева, А.Д. Алинова, Ж.О. Оралбекова, Г.А. Тюлепбердинова, Н.М. Жамишева <i>ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА MISSION PLANNER ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ</i>	163

К. Akishev, К. Aryngazin, В. Biybosynov <i>THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN CALCULATING THE PRODUCTIVITY OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF CERAMIC PRODUCTS BASED ON MAN-MADE RAW MATERIALS</i>	173
Б.Б. Оразбаев, Л.Т. Салыбек, Л.Т. Курмангазиева, В.И. Терехов, Б.Е. Утенова, В.Е. Махатова, А.С.Өтебаева <i>МҰНАЙДЫ БАСТАПҚЫ ӨНДЕУ ҚОНДЫРҒЫСЫНДА ТҰРАҚТЫ БЕНЗИН ӨНДІРУ ПРОЦЕСІН АЙҚЫНСЫЗДЫҚТА МОДЕЛЬДЕРІ НЕГІЗІНДЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ ТӘСІЛІ</i>	186
2 Химическая технология	201
О.А.Нуркенов, А.Ж.Мендибаева, Т.М.Сейлханов, Ж.С.Нурмаганбетов, С.К.Кабиева, А.К.Сыздыков, С.Д.Фазылов <i>СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ АЗИДА НИКОТИНОВОЙ КИСЛОТЫ</i>	201
A.I.Samadun, B.R. Taussarova, Zh.S. Nabiyeva, G.T.Daribayeva <i>DEVELOPMENT OF ANTIMICROBIAL PACKAGING MATERIALS FOR FOOD PRODUCTS BASED ON COPPER NANOPARTICLES</i>	215
Т.Т.Машан <i>ТӨМЕНГІ ҚЫСЫМДАҒЫ КӨМІРСУТЕКТЕРДІҢ ЭЛЕКТР ӨРІСІНДЕ ЖАНУЫН ЗЕРТТЕУ</i>	226
N. Akatyev <i>SEMI-EMPIRICAL INVESTIGATION OF ZINC(II) SALICYLATE. COMPARISON WITH X-RAY STRUCTURE</i>	236
С.Д. Фазылов, Ж.Б. Сатпаева, О.А. Нуркенов, Р.Е. Бакирова, А.К. Свидерский, А.Ж. Мендибаева <i>ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ КОМПЛЕКСОВ ВКЛЮЧЕНИЙ ГИДРАЗИДОВ о- И п-ГИДРОКСИБЕНЗОЙНЫХ КИСЛОТ И ИХ ГИДРАЗОНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ</i>	250
М.К. Kazankarova, B.T. Yermagambet, G.K. Mendaliyev, A. Samatkyzy, A.B. Malgazhdarova <i>OBTAINING CARBON NANOMATERIALS FROM SHUBARKOL COAL AND APPLICATION FOR HYDROGEN STORAGE</i>	261
Н.У. Нургалиев, Ж.Б. Искакова, А. Колпек, Е.К. Айбульдинов, А.С. Сабитов, Э.Е. Копишев, Р.М. Салихов, М.С. Петров, Г.Ж. Алжанова, Г.Г. Абдиусупов, М.Т. Өмірзақ <i>ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЯ И ПРОДУКТОВ ЕГО ПИРОЛИЗА</i>	277
Э.Қ. Қаржауова, Д.Д. Мейрам, Ж.Т. Нұртай, А.Ж. Хамит, С.Ж. Қалыхбергенова <i>ЖАРЫЛЫС ЖҰМЫСТАРЫНДА ЭМУЛЬСИЯЛЫҚ ЖАРЫЛҒЫШ ЗАТТАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН ТАЛДАУ</i>	288
Е.Б. Асылбеков, С.А. Тунгатарова, G.G. Xanthoroulou, Т.С. Байжуманова, М. Жумабек <i>SHS ӘДІСІМЕН СИНТЕЗДЕЛГЕН КАТАЛИЗАТОРЛАРДЫ ӘРТҮРЛІ ЖАҒДАЙДА САЛҚЫНДАТУДЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ</i>	302
Қ.А. Куртибай, Ә. Қаппасұлы, А.Ә. Үсенова, Е.Е. Жатқанбаев, Ж.К. Жатқанбаева, Н.Б. Молдагулова, Э.Б. Молдагулова <i>ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ЭФФЕКТИВНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ СТЕБЛЕЙ ХЛОПЧАТНИКА ПРОИЗРОСТАЕМОЙ В ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ</i>	313
К.А. Kurtibay, Ye.Ye. Zhatkanbayev, A. Kappassuly, A.A. Ussenova Zh.K. Zhatkanbayeva, N.B. Moldagulova, E.B. Moldagulova <i>STUDY OF WASTEWATER TREATMENT EFFICIENCY USING A COMBINED METHOD OF FORWARD AND REVERSE OSMOSIS INTEGRATED WITH ACTIVATED CARBON TREATMENT</i>	330

Kh.B. Omarov, Zh.T. Nurtai, N.U. Nurgaliyev, A.Kh Takirova <i>STUDY OF THE BEHAVIOR OF ARSENIC IN COPPER ELECTROLYTE</i>	340
N.I. Kopylov, Kh.B.Omarov <i>PROCESSING OF SOLID ARSENIC-CONTAINING MATERIALS</i>	347
Е.М. Сүлеймен <i>КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ НЕФТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЗЕНЬ</i>	356

Производственные и обрабатывающие отрасли

3 Пищевая технология	370
А.Ж. Хастаева <i>СҮТТІҢ МАЙ ҚЫШҚЫЛДЫ ҚҰРАМЫНА CSN3 ГЕНОТИПІНІҢ ӘСЕРІ</i>	370
К. Makangali, G. Ospankulova, G.Tokysheva <i>ENHANCING QUALITY AND SHELF LIFE OF ORGANIC SAUSAGES WITH PURSLANE POWDER</i>	382
А.Т. Костанова, Ш.Б. Байтуkenова, С.Б. Байтуkenова <i>СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И АНАЛИЗ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ МЯСА КОНИНЫ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН</i>	390
М.М. Ташыбаева, А.К. Какимов, А.А. Майоров, Г.А. Жумадилова <i>УСТАНОВКА ДЛЯ КАПСУЛИРОВАНИЯ ПРОБИОТИКОВ</i>	399
С.Л. Гаптар, С.Б. Байтуkenова <i>ПРИМЕНЕНИЕ BIOTEХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОНИНЫ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ</i>	412
А.Б. Рахматулина, Ф.Т. Диханбаева, Д.А. Тлевлесова М.К. Изтилеуов, Б.К. Калемшарив <i>РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ КОБЫЛЬЕГО МОЛОКА: АНАЛИЗ СОСТАВА, МЕТОДОВ И ВЫХОДОВ ПРОДУКЦИИ</i>	420
Д.А. Шаймерденова, А.М. Омаралиева, Б.К. Тарабаев, Л.Т. Сарбасова, С.С. Ануарбекова, Д.Б. Искакова, А.А. Шаймерденов, Д.А. Тастанов <i>ПРОИЗВОДСТВО ОБОГАЩЕННЫХ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ КОМПЛЕКСОМ НАНОКАРБОКСИЛАТОВ И ТОНКОДИСПЕРСНЫМ ПОРОШКОМ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР</i>	430
В.Khamitova, F.Dikhanbayeva, G.Koshtayeva <i>STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOFT DRINKS OBTAINED WITH ADDITION OF GOOSEBERRY EXTRACT</i>	443
4 Горное и нефтегазовое дело	452
Д.К. Таханов, М.Ж. Балпанова, Д.Т. Ивадилинова <i>ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ ДЛЯ НАКЛОННЫХ ЗАЛЕЖЕЙ</i>	452
А.Р. Мамбеталиева, Г.К. Макашева, Т.Ш. Тусупбекова, С. К. Калиаскаров, С. Сагатбек <i>ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ ОТВАЛЬНЫХ ХВОСТОВ</i>	466
А.М. Құрманов, А.М. Рахметова, Э.А. Құлмағамбетова, Н.Б. Әбдрахманова, Н.Т. Сағындықова <i>ТАУ-КЕН КӘСПОРЫНДАРЫНЫҢ ЖҰМЫСКЕРЛЕРІНДЕ КӘСПТІК АУРУЛАРДЫҢ ДАМУЫНЫҢ ӨНДІРІСТІК ҚАУІП ФАКТОРЛАРЫ</i>	477

Т.С. Кайненова, Г.Т. Космбаева, А.Т. Отарбаева, А. Мерекеқызы <i>АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВЫРАБОТКИ ЗАПАСОВ НЕФТИ ИЗ ПЛАСТОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ СЕВЕРНАЯ ТРУВА</i>	488
N.T. Smailova, A.Y. Popov <i>ENSURING RELIABLE AND SAFE OIL STORAGE IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN</i>	500
К.К.Сейлханов, Б.Т.Мурзагалиев, Ж.Т.Даулетжанова, М.Т.Сейлханова, С.Бахтияр <i>МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ И ПОДГОТОВКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ</i>	509

Экономика, бизнес и услуги

В.М. Pazykhaiyr <i>LOCAL COMMUNITIES' PARTICIPATION IN SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT: MANGYSTAU REGION CASE STUDY</i>	520
A.S. Baktymbet, S.S. Baktymbet, M.M. Idrisov, A. Serikkyzy <i>INDUSTRIAL AND INNOVATIVE DEVELOPMENT: CHALLENGES AND PROSPECTS FOR KAZAKHSTAN (analytical review)</i>	531
Р.Қ. Елшібаев <i>БАҒАЛЫ ҚАҒАЗДАР НАРЫҒЫН МЕМЛЕКЕТТІК РЕТТЕУ МӘСЕЛЕЛЕРІ</i>	540
Zh.T. Konurbayeva, S.N. Suiubayeva, A.M. Zakimova, L.A. Mezentseva, A.Zh. Turegeldinova, B.B. Amralinova <i>PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ECOTOURISM IN THE EAST KAZAKHSTAN REGION IN THE CONTEXT OF IMPLEMENTING THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN</i>	547
A.B. Mottaeva, Ye.A. Gordeyeva, D.A.Sitenko, A. Sabyrzhan, D.M. Temirbayeva <i>THE CONTRIBUTION OF INNOVATIONS TO THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE REGIONS OF KAZAKHSTAN</i>	562
С.Рейдолда, О.А. Карпенко, К.Ж. Садвокасова, А.М. Бержанова, Б.Н. Жабытай, А.К. Алпысбаева <i>МЕМЛЕКЕТТІК-ЖЕКЕ МЕНШІК ӘРІПТЕСТІКТІҢ АҚМОЛА ӨҢІРІНІҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ӨСУІНЕ ӘСЕРІН ТАЛДАУ</i>	576
A.Serikkyzy, S.S. Baktymbet, M. Ermirzoev, A.B. Akhmetova <i>THE IMPACT OF FOREIGN AID ON THE ECONOMIC GROWTH OF CENTRAL ASIAN COUNTRIES (analytical review)</i>	588
А. М. Курманов, И. Е.Сарыбаева, А. Н. Омаркожаева, А.Б. Бекмагамбетов <i>СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА И АНАЛИЗА ЗАТРАТ НА ОХРАНУ ТРУДА В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ И СТРАТЕГИИ УЛУЧШЕНИЯ</i>	601

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ КРЕДИТНОГО СКОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

¹Д.К. Даркенбаев, ¹Г.З. Зиятбекова✉, ¹А. Алтыбай, ²Н.О. Мекебаев, ³Д.С.Жамангарин

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

²Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,

³Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан

✉Корреспондент-автор: ziyatbekova@mail.ru

В статье использовались алгоритмы машинного обучения для решения задач кредитного скоринга. Изучены методы анализа, прогнозирования и определения платежеспособности физических лиц. Кроме того, в статье сравнивается и исследуется одна из актуальных проблем банковских систем, а также представлены результаты обработки данных. Результаты исследования, представленные в статье, показали эффективность кредитного скоринга при принятии решений и показали, что их использование позволяет существенно повысить точность прогнозирования кредитоспособности физических лиц и улучшить процесс принятия решений по кредитованию. Результаты исследования, представленные в статье, вносят важный вклад в банковскую отрасль и решают проблемы принятия решений по финансированию физических лиц. Практическое применение результатов поможет улучшить процесс кредитования и снизить риски финансовых организаций. Авторы статьи планируют продолжить исследования в этой области.

Ключевые слова: методы, технология, данные, алгоритм, анализ.

**МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІН ҚОЛДАНАТЫН НЕСИЕЛІК СКОРИНГ
ЖҮЙЕЛЕРІН ЗЕРТТЕУ**

¹Д.К. Даркенбаев, ¹Г.З. Зиятбекова✉, ¹А. Алтыбай, ²Н.О. Мекебаев, ³Д. С. Жамангарин

¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

²Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

³Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

e-mail: ziyatbekova@mail.ru

Мақалада несиелік скоринг мәселелерін шешуде машиналық оқыту алгоритмдері қолданылды. Жеке тұлғалардың төлем қабілеттілігін талдау, болжау және анықтау әдістері зерттелген. Сонымен қатар, мақалада банк жүйелерінің өзекті мәселелерінің бірі несиелік скоринг жүйелері салыстырыла зерттеліп, деректерді өңдеу нәтижелері берілген. Мақаладағы берілген зерттеу нәтижелері несиелік скорингтің шешім қабылдауда тиімділігін көрсетті және оларды қолдану жеке тұлғалардың несиелік қабілеттілігін болжау дәлдігін айтарлықтай жақсартуға және несиелік беру бойынша шешім қабылдау процесін жақсартуға болатындығын көрсетті. Мақалада берілген зерттеу нәтижелері банк саласына маңызды үлес қосады және жеке тұлғаларды қаржыландыру бойынша шешім қабылдау мәселелерін шешеді. Нәтижелерді практикалық қолдану несиелік беру процесін жақсартуға және қаржы ұйымдарына тәуекелдерді азайтуға септігін тигізеді. Мақала авторлары осы салада зерттеу жұмыстарын әрі қарай жалғастыруды жоспарлап отыр.

Түйін сөздер: әдістер, технология, деректер, алгоритм, талдау.

RESEARCH OF CREDIT SCORING SYSTEMS USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS

¹D.K. Darkenbayev, ¹G.Z. Ziyatbekova✉, ¹A. Altybay, ²N.O. Mekebayev, ³D.S. Zhamangarin,

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

² Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

³K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,

e-mail: ziyatbekova@mail.ru

The article used machine learning algorithms to solve credit scoring problems. Methods of analysis, forecasting and determination of the solvency of individuals have been studied. In addition, the article compares and examines one of the current problems of banking systems, and also presents the results of data processing. The research results presented in the article showed the effectiveness of credit scoring in decision making and showed that their use can significantly increase the accuracy of forecasting the creditworthiness of individuals and improve the lending decision-making process. The research results presented in the article make an important contribution to the banking industry and solve the problems of decision-making on financing of individuals. Practical application of the results will help improve the lending process and reduce the risks of financial organizations. The authors of the article plan to continue research in this area.

Keywords: methods, technology, data, algorithm, analysis.

Введение. Кредитный скоринг играет важную роль в современном финансовом секторе Казахстана. Встроенная в процесс принятия кредитных решений, она позволяет банкам и финансовым учреждениям оценивать кредитоспособность заемщиков на основе различных факторов, таких как история платежей, уровень дохода и кредитная история. Это снижает риски невозврата и невыплаты кредитов, повышает эффективность кредитного процесса, повышает финансовую устойчивость отрасли. Кредит – довольно распространенный термин среди жителей страны [1]. Изначально кредитными услугами воспользовались казахстанцы, занимающиеся предпринимательством или желающие приобрести транспортные средства. Но с появлением филиалов иностранных банков, таких как Freedom Finance Bank, Home Credit Bank и других, кредитная система начала развиваться и стала еще доступнее для каждого жителя страны, имеющего счет в банке. Значимость кредитного скоринга для банковского сектора Казахстана определяется в снижении кредитных рисков, повышении эффективности банков и обеспечении финансовой устойчивости сектора. С появлением услуг мик-

рокредитования, а также кредитов в рассрочку, ипотеки, кредитов банки стали получать поминутные заявки на кредит, что вначале было выгодно финансовым учреждениям из-за процентов, которые они могли получить с каждого клиента, но разнообразия финансовых история каждого клиента, требовала индивидуального подхода к каждому, что приводило к непродуктивной работе сотрудников банка, что соответственно снижало прибыль. Это послужило стимулом для совершенствования и автоматизации процесса выдачи кредитов, термина «кредитный скоринг» и применения машинных алгоритмов [2]. Использование машинных алгоритмов позволяет банкам более точно оценить кредитоспособность заемщиков, оптимизировать процесс выдачи кредита и снизить риск для обеих сторон. Проблема, над которой мы работаем, связана с кредитным скорингом и его улучшением с помощью алгоритмов машинного обучения. Кредитный скоринг является неотъемлемой частью кредитного процесса и его целью является оценка кредитоспособности заемщика. Точность и эффективность кредитного скоринга имеют решающее значение для банков и других финансовых учреждений,

поскольку они позволяют снизить риск дефолта и принимать обоснованные решения о кредитовании. Практическая значимость нашей работы заключается в том, что ее результаты могут быть использованы финансовыми учреждениями для улучшения процессов принятия кредитных решений [3]. Более точные и эффективные модели кредитного скоринга позволят банкам принимать обоснованные и обоснованные решения о кредитовании на основе того факта, что мы определяем неспособность клиента погасить кредиты, тем самым минимизируя финансовый риск. Таким образом, проблема недостаточной точности и эффективности традиционных методов кредитного скоринга, а также необходимость применения современных алгоритмов машинного обучения делают нашу работу актуальной и имеющей практическое значение для финансовых учреждений.

Материалы и методы. Одним из ограничений машинного обучения в кредитном скоринге является возможность предвзятости. Несколько исследований показали, что модели машинного обучения могут воспроизводить и усиливать существующие искажения в данных. Например, исследование Hardt и др. (2016) обнаружили, что модель машинного обучения, обученная на исторических кредитных данных, воспроизводит и усиливает расовые предубеждения, присутствующие в данных. Чтобы смягчить эту проблему, исследователи предложили различные методы, такие как ограничения справедливости и состязательное обучение. Ларрейн и др. (2017) использовали алгоритмы машинного обучения для прогнозирования поведения выплат по кредитам в Чили. Они сравнили производительность нескольких моделей, включая логистическую регрессию, машины опорных векторов и деревья решений, и обнаружили, что случайные леса обеспечивают наибольшую точность [4].

Данные предоставлены в свободный доступ Холум Кредит Банком. Набор данных содержит личную информацию о заемщике, такую как пол, возраст, цель кредита, семейное положение и т. д. А также финансовую информацию, такую как доход, есть ли у человека машина, есть ли у него дом и т. д. Кроме того, данные предоставляют

кредитную историю человека, ежемесячные выписки по кредиту и карте. Объединение данных всех таблиц - первостепенная задача для создания системы кредитного скоринга. Объединение таблиц между собой - очень важная задача, поскольку плохое или неудачное объединение данных может привести к потере ценной информации, что в будущем не позволит повысить производительность. При объединении таблиц возникает проблема большой размерности данных. Только в основной таблице `application_train` 121 атрибут, за исключением `target`, но следует также учитывать, что при объединении таблиц может появиться любое количество атрибутов, например один атрибут из таблицы или 30 атрибутов из таблицы, поэтому после объединения всех имеющихся данных количество атрибутов может значительно увеличиться. Подход к решению этой проблемы заключается в обеспечении устойчивости алгоритмов машинного обучения к бесполезным функциям. Идея в том, что модель в ходе обучения сама определит важные для нее и неважные функции.

Логистическая регрессия. Логистическая регрессия – это контролируемый метод машинного обучения и тип множественной регрессии, который можно использовать для оценки вероятности того, что событие произойдет для конкретного субъекта (больной/здоровый, погашение кредита/дефолт и т. д.). В задаче классификации логистическая регрессия называется бинарной, как следует из названия. Она применяется, когда зависимая переменная является двоичной, что означает, что она может принимать только два значения, например «да» или «нет», «истина» или «ложь», «1» или «0» и так далее. Суть логистической регрессии состоит в том, что пространство значений независимых переменных (n -мерное пространство) можно разделить некоторой линейной границей на две области, соответствующие классам.

Под некоторой линейной границей понимается линейная комбинация независимых переменных, называемая гиперплоскостью. В случае двух измерений это просто прямая линия без кривых. В случае трёх – это самолёт и так далее. Чем дальше

точка находится от гиперплоскости, тем с большей вероятностью она принадлежит соответствующему классу предметной области.

Уравнение, описывающее гиперплоскость:

$$w^T x_i + b = 0 \quad (1)$$

$$w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots w_i x_i + b = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i x_i + b = 0 \quad w \in R^n, b \in R \quad (3)$$

где w_i – коэффициенты, определяющие все семейство прямых, проходящих через точку $(0, 0)$. Соотношение w определяет угол линии к осям. Ненулевой коэффициент b позволяет линии не проходить через ноль, другими словами, это смещение. Наклон к осям не меняется, то есть b определяет семейство параллельных прямых, n – количество неизвестных переменных. Геометрический смысл вектора (w_i, w_n) нормален к гиперплоскости [5].

1. Евклидовое расстояние:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_i (x_i - y_i)^2} \quad (4)$$

2. Расстояние Манхэттена:

$$d(x, y) = \sum_i |x_i - y_i| \quad (5)$$

3. Расстояние Минковского:

$$d(x, y) = \left(\sum_i (|x_i - y_i|^p) \right)^{\frac{1}{p}} \quad (6)$$

где x и y – два экземпляра, а x_i и y_i – значения признака i для x и y соответственно, а p – параметр определяющий степень ближайших соседей.

После расчета расстояний до всех соседей в обучающей выборке KNN выбирает k соседей, расстояние которых минимально. Когда выбрано число k и метрика расстояния, KNN классифицирует новые наблюдения на основе того, какие классы наиболее распространены среди их k ближайших соседей [6].

k -Nearest Neighbours (KNN). k -Nearest Neighbours (KNN) – это тип алгоритма машинного обучения, используемый для решения задач классификации и регрессии. KNN основан на простой идее: объекты одного класса обычно находятся ближе друг к другу в пространстве признаков. KNN основан на принципе, где k обозначает количество «ближайших соседей». Когда новый наблюдаемый случай (или объект) требует классификации, алгоритм KNN просматривает k ближайших соседей этого объекта из набора обучающих данных. Затем он присваивает объекту класс, наиболее распространенный среди этих соседей. Если $k = 1$, новый объект присваивается классу его ближайшего соседа. В контексте регрессии KNN присваивает новому объекту среднее значение k ближайших соседей. Но раз уж мы решили взять в классификацию KNN, то не будем особо останавливаться на регрессии. Для определения ближайших соседей можно использовать различные метрики расстояния:

Машины опорных векторов (SVM). Машины опорных векторов (SVM) – это тип алгоритма машинного обучения, который в основном используется для решения задач классификации, хотя его также можно применять для регрессии и обнаружения выбросов. Целью SVM является поиск гиперплоскости в многомерном пространстве, которая лучше всего разделяет два класса данных [7].

Гиперплоскость – это линия, которая делит про-

пространство входных объектов, создавая раздел между классами. SVM стремится найти оптимальную гиперплоскость, которая эффективно разделяет точки данных на основе их принадлежности к определенному классу – это может быть класс 0 или класс 1. Если мы представим, что это линия в контексте двумерного пространства, разделяющая наши данные. Например:

$$B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 = 0 \quad (7)$$

где коэффициенты B_1 и B_2 , определяющие наклон линии и точку пересечения B_0 , находятся с помощью алгоритма обучения, а X_1 и X_2 – две входные переменные.

Линия гиперплоскости позволяет проводить классификацию. Используя уравнение линии, мы

можем вставить входные значения и определить положение новой точки относительно линии. У нас будет 4 варианта:

1) Если новая точка находится над линией, уравнение дает значение больше нуля, и мы можем классифицировать эту точку как принадлежащую первому классу (класс А).

2) Если новая точка находится ниже линии, уравнение дает значение меньше нуля, и мы относим точку ко второму классу (классу В).

3) Если новая точка находится близко к линии, уравнение дает значение, близкое к нулю, и классифицировать точку становится сложнее.

4) Если значение велико, это указывает на большую уверенность модели в своем прогнозе.

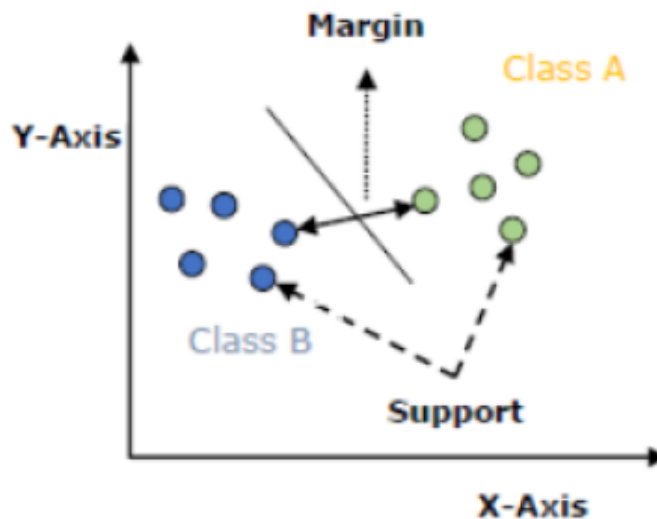


Рис. 1 – Машины опорных векторов

Расстояние между линией и ближайшими точками данных определяется как «запас». Идеальная или оптимальная линия, которая может эффективно разделить два класса, имеет наибольший запас. Такая линия называется «гиперплоскостью с максимальным запасом». Запас определяется как перпендикулярное расстояние от линии до ближайших точек. Только эти точки важны при определении линии и создании классификатора. Такие точки называются «опорными векторами». Они поддерживают или определяют гиперплоскость. Гиперплоскость выбирается

из обучающих данных с использованием метода оптимизации, который максимизирует запас. На практике данные часто хаотичны и не могут быть полностью разделены гиперплоскостью. Из-за этого мы немного ослабляем ограничение на максимизацию запаса в виде линии, разделяющей классы. Такой классификатор обычно называют «классификатором с мягкими границами». Это изменение позволяет некоторым точкам в наборе обучающих данных нарушать границу разделительной линии [8].

Случайный лес (Random Forest). Случай-

ный лес — это метод ансамблевого обучения, который объединяет несколько деревьев решений для создания более точного и стабильного прогноза. Суть метода заключается в построении большого количества различных деревьев решений, а затем усреднении их прогнозов. Каждое дерево строится независимо от других. При построении каждого дерева используются следующие случайные элементы [9]:

1. Начальная загрузка: для построения каждого дерева из исходной выборки данных с возвратом выбирается подвыборка. Это означает, что некоторые экземпляры могут появляться в под-

выборке более одного раза, а другие могут вообще не появляться.

2. Подпространство случайных признаков. В каждом узле дерева решений выборка признаков ограничивается случайным подмножеством признаков при выборе оптимального признака для разделения.

Однако следует отметить, что при работе со Random Forest нам не нужно обрабатывать каждое дерево отдельно. Мы просто обучаем модель на данных, и она автоматически создает и объединяет все деревья.

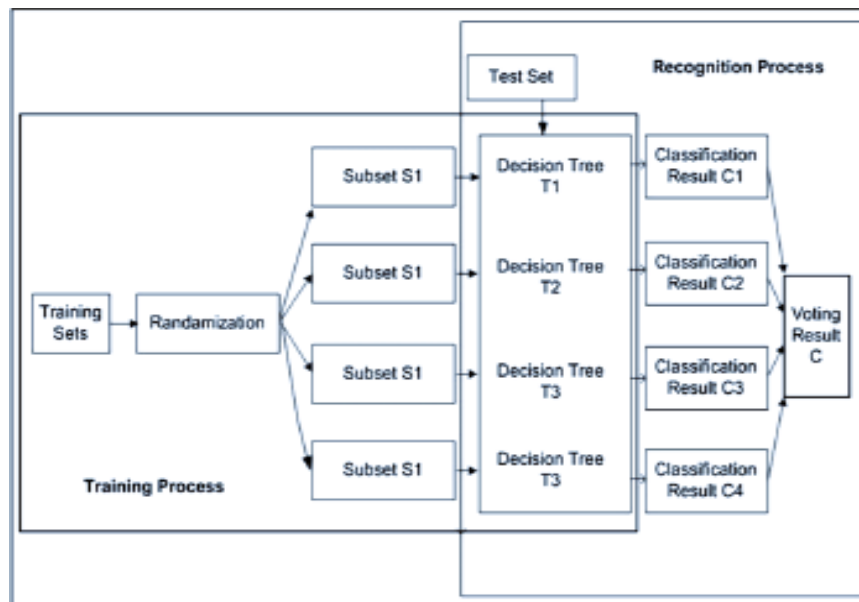


Рис. 2 – Концептуальная основа классификатора случайного леса

Существует несколько показателей, которые можно использовать для измерения «качества» разделения в дереве решений, и эти показатели также используются в случайном лесу [10]. Двумя наиболее распространенными показателями являются энтропия и коэффициент Джини. Обе классификации являются двоичными и измеряют степень «чистоты» узла.

являются энтропия и коэффициент Джини. Обе классификации являются двоичными и измеряют степень «чистоты» узла.

1. Энтропия (в случае бинарной классификации):

$$E(p) = -p * \log_2(p) - (1 - p) * \log_2(1 - p) \quad (8)$$

2. Коэффициент Джини:

$$G(p) = 1 - (p^2 + (1 - p)^2) \quad (9)$$

где P – вероятность того, что случайно выбранный элемент из узла будет принадлежать классу 1. Таким образом, если все элементы в узле принадлежат к одному классу (т.е. узел «чистый»), энтропия и коэффициент Джини будут равны 0. Если данные равномерно распределены между обоими классами, они достигнут максимального значения (в случае бинарной классификации оно будет равно 0,5). В контексте случайного леса энтропия и коэффициент Джини используются для определения наиболее эффективного разделения на каждом этапе. Это разделение выбирается таким образом, чтобы минимизировать взвешенную сумму энтропий или коэффициент Джини в дочерних узлах. Это помогает создавать деревья решений, которые хорошо распределяют данные, и приводит к более точным прогнозам по ансамблю в целом. Случайный лес в кредитном скоринге предлагает преимущества в виде обработки большого количества функций, устойчивости к недостающим данным и масштаба функций, а также эффективности при работе с несбалансированными данными. Этот алгоритм выделяет ключевые факторы при принятии кредитного решения и снижает риск переобучения. Однако он также создает проблемы при интерпретации результатов, требует больших вычислительных ресурсов и может демонстрировать нестабильность прогнозирования и трудности в прогнозировании редких событий. Также существует риск переобучения при наличии шумовых особенностей [11].

Обсуждение и результаты. В статье использовались модели машинного обучения, включая k -ближайшие соседи (KNN), случайный лес, машины опорных векторов (SVM) и логистическую регрессию, а также анализировались различные показатели. Данные были предварительно обработаны, включая масштабирование, категориальное кодирование признаков и удаление выбросов. Затем данные были разделены на обучающую выборку и тестовую выборку в соотношении, обеспечивающем надежную оценку моделей. Затем каждая модель была обучена на обучающей выборке с использованием подходящих гиперпараметров. Далее были получены прогнозы для тестовой выборки и сравнены с истин-

ными значениями целевой переменной. Результаты экспериментов показали, что все рассмотренные модели демонстрируют ту или иную степень эффективности при решении задачи кредитного скоринга. В частности, модели KNN, Random Forest достигли высоких значений точности и $F1$ -меры, что указывает на их способность правильно классифицировать клиентов с низким и высоким кредитным риском. С другой стороны, модели SVM и логистической регрессии также показали приемлемые результаты, но их производительность оказалась несколько ниже, чем у предыдущих моделей. В целом по полученным результатам можно сделать вывод, что модели KNN, Random Forest являются наиболее подходящими алгоритмами для задачи кредитного скоринга. Однако этот результат может сработать не для всех наборов данных, но в нашем конкретном случае, при работе с данными банка Хоум Кредит, они наиболее актуальны.

Особенность кредитного скоринга заключается в том, что классифицировать плохого заемщика как хорошего обходится дороже, чем классифицировать хорошего заемщика как плохого. Ошибка второго рода и ошибка первого рода соответственно; ошибка второго рода обходится кредитору гораздо дороже, чем ошибка первого рода. В связи с этим приняты следующие метрики оценки качества алгоритмов. Для этого введем следующие понятия [12]:

TP (True Positive) – истинно положительный.

FP (False Positive) – ложное срабатывание. Ошибка первого рода.

FN (False Negative) – ложноотрицательный результат. Ошибка второго рода.

TN (True Negative) – истинно отрицательный.

Точность (Accuracy) – доля правильно классифицированных кредитов. Самая простая метрика, но не должна быть единственной метрикой модели, особенно когда представители разных классов встречаются с разной вероятностью (несбалансированная выборка). Точность рассчитывается по следующей формуле:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (10)$$

Точность (*Precision*) – это доля объектов, которые классификатор называет положительными и которые на самом деле являются положительными. Рассчитывается по формуле:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (11)$$

Полнота (*Recall*) – доля объектов положительного класса от всех объектов положительного класса, найденных алгоритмом. Он рассчитывается по формуле:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (12)$$

F1 оценка – среднее гармоническое значение точности и полноты:

$$F1Score = \frac{2 \cdot (Precision \cdot Recall)}{Precision + Recall} \quad (13)$$

Матрица путаницы – это матричная таблица, используемая для оценки эффективности классификатора. Обычно он указывает количество правильных и неправильных результатов алгоритма классификации. Он также предоставляет информацию об ошибках первого и второго порядка [13].

Таблица 1 – Матрица путаницы

Actual – True		
True Positive	False Positive (Type 1)	Predicted – Positive/Negative
False Negative (Type 2)	True Negative	Predicted – Positive/Negative

Model: Random Forest on test
 Accuracy_score: 0.9124268443760947
 Precision_score: 0.3492063492063492
 Recall_score: 0.005390835579514825
 F1-score: 0.010617700617760619
 percentage of type 2 error: 8.7%

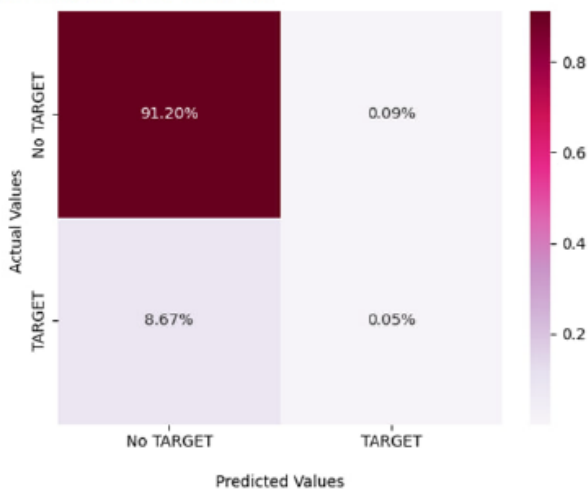


Рис. 3 - Результаты случайного леса

Model: SVM on test
 Accuracy_score: 0.6789220060681778
 Precision_score: 0.17167119942276737
 Recall_score: 0.709403669724796
 F1-score: 0.2764445636144255

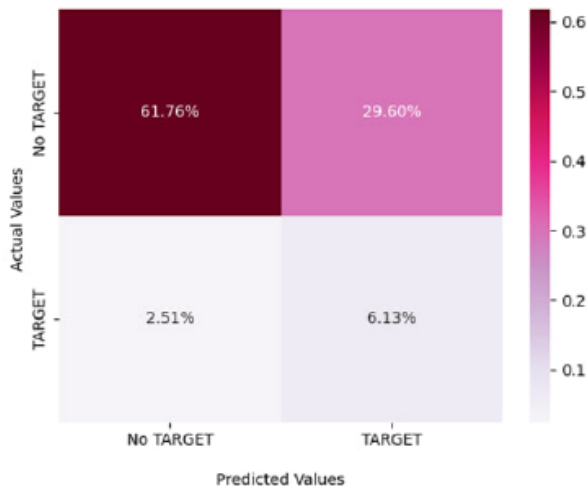


Рис. 4 - Результаты машины опорных векторов (SVM)

Результаты случайного леса (Random Forest): точность - хорошая, но увеличилось и количество ошибок второго рода. Эта модель редко предсказывает, что человек не вернет кредит.

Результаты SVM: эта модель показывает средние результаты при сравнении логистической ре-

грессии и случайного леса.

Результат: из всех метрик лучше всего выделяется процент ошибок 2-го типа, он достаточно мал, о чем свидетельствует показатель полноты. Точность приемлемая.

Model: Knn on test
 Accuracy_score: 0.6859420548515676
 Precision_score: 0.14037726389672245
 Recall_score: 0.5137614678899083
 F1-score: 0.22050499581631147

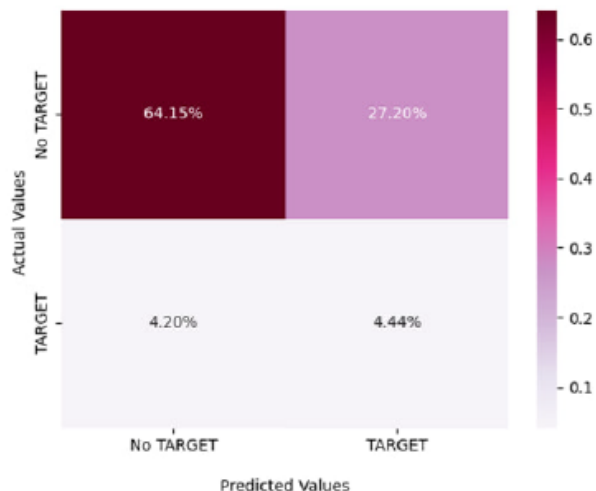


Рис. 5- Результаты k ближайших соседей (KNN)

Model: LogisticRegression on test
 Accuracy_score: 0.6974636603406905
 Precision_score: 0.17602283539486205
 Recall_score: 0.6788990825688074
 F1-score: 0.2795617680392898
 percentage of type 2 error: 2.8000000000000003%



Рис. 6 - Результаты логистической регрессии (LR)

Таблица 2 – Результаты использованных моделей

Модели	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
Случайный лес (Random Forest)	0.91	0.35	0.006	0.01
Машины опорных векторов (SVM)	0.68	0.17	0.71	0.28
k -Ближайших соседей (KNN)	0.69	0.14	0.51	0.22
Логистическая регрессия	0.70	0.18	0.68	0.28

Выводы. В статье проведено исследование кредитного скоринга с использованием различных машинных алгоритмов. Основной целью исследования было создание эффективной скоринговой модели для прогнозирования вероятности дефолта клиентов Хоум Кредит Банка. Для достижения этой цели был использован обширный набор данных, предоставленный Хоум Кредит Банком, содержащий информацию о клиентах и их кредитной истории. Данные были предварительно обработаны и прошли этапы очистки, масштабирования и преобразования для подготовки к обучению модели. В исследовании применялись четыре различных моделей машинного обу-

чения: случайный лес, машины опорных векторов (SVM), K ближайших соседей (KNN), логистическая регрессия. Каждая модель была обучена на обучающей выборке и протестирована на тестовой выборке. Эксперименты позволили нам сравнить производительность различных моделей и оценить их точность, полноту и F1-меру на основе показателей качества классификации. Результаты показали, что модели Random Forest, Gradient и логистической регрессии демонстрируют наилучшую точность и полноту. Они достигают высокой точности прогнозирования кредитного риска и принимают эффективные решения на основе предоставленных данных. По резуль-

татам экспериментов можно сделать следующие выводы: Модель, основанная на ансамблевых методах, такой как Random Forest, показала лучшую производительность среди всех протестированных моделей. Она продемонстрировала высокую точность и стабильность в прогнозировании кредитоспособности клиентов. Линейная модель, как логистическая регрессия, показала низкую производительность по сравнению с другими моделями. SVM также показала хороший результат, но немного уступали ансамблевым моделям в точности прогнозирования. KNN оказалась наименее эффективным моделям среди протестированных. Они имеют ограниченные возможности по моделированию сложных зависимостей в данных и требуют более тщательного подбора параметров для достижения высоких результатов. Оценка выполнения задачи показала, что использование Random Forest позволяет существенно повысить точность прогнозирования кредитоспособности клиентов. Эта модель обладают способностью обобщать данные и фиксировать сложные взаимосвязи между атрибутами, что обеспечивает высокую точность. Пути реализации результатов исследования могут включать следующие аспекты: финансовым организациям рекомендуется интегрировать выбранные ансамблевые модели, такие как Random Forest, KNN, SVM LightGBM в свою систему кредитного скоринга. Это поможет повысить качество и достоверность прогноза погашения кредита и снизить риск для банка.

Литература

- 1.G.T.Balakayeva, D.K.Darkenbayev, C.Phillips. Investigation of technologies of processing of BigData// International Journal of Mathematics and Physics-2017.-Vol.8.- No.2.- P. 13-18. DOI: 10.26577/ijmph.2017.v8.i2.02
- 2.Anderson R. The credit scoring toolkit: theory and practice for retail credit risk management and decision automation, N.Y.: Oxford University Press, 2007. – 790 p. ISBN: 9780199226405
- 3.Lewis E.M. An introduction to credit scoring.//Athena press, 1992. – 162 p.
- 4.Naeem S. Credit risk scorecards: developing and implementing intelligent credit scoring//John Wiley and Sonsю- 2015.-208 p. ISBN: 978-1-119-20173-1
- 5.Allison P.D. Logistic regression using the SAS system: theory and application//Cary, NC: SAS Institute, 2001. – 303 p. SBN: 978-0-471-22175-3
- 6.Mays E.(ed.) Handbook of credit scoring. Chicago: Glenlake Publishing Company Ltd /Fitzroy Dearborn Publishers, 2001.-370 p. ISBN 978-0814406199
- 7.Rimmer J. Contemporary changes in credit scoring // Credit Control, 2005.-Vol.4(26)- P.56-60.
- 8.Rowland J. B. Confidently evaluate small businesses with credit scoring // Business Credit, 2003.- P. 26-31.
- 9.G. Balakayeva, D. Darkenbayev. The solution to the problem of processing Big Data using the example of assessing the solvency of borrowers//Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2020. – Vol. 98(3).- P 2659-2670.
- 10.D. Darkenbayev Big Data processing on the example of credit scoring.//Journal of Problems in Computer Science and Information Technologies.-2023. -Vol.1(3).- P.50-61. DOI 10.26577/1i32jpcsit2307
- 11.Thomas Lyn C. A survey of credit and behavioural scoring: forecasting financial risk of lending to consumers // International Journal of Forecasting, 2000. – No.16. – Pp. 149-172.
- 12.Myers J.H., Forgy E.W. The development of numerical credit evaluation systems//Journal of American Statistical Association.-1963.-No.58.-P.799-806.

13. David W. Hosmer, Stanley Lemeshow Applied logistic regression. - N.-Y.: John Wiley and Sons, 2000. - P.1162-1163. DOI:10.1002/0471722146

Сведения об авторах

Даркенбаев Д.К. - PhD, и.о. доцента, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: dauren.kadyrovich@gmail.com;

Зиятбекова Г.З.- PhD, и.о. доцента, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: ziyatbekova@mail.ru;

Алтыбай А. - PhD, и.о. доцента, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: arshyn.altymbay@gmail.com;

Мекебаев Н.О.-PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: nurbapa@mail.ru

Жамангарин Д. С.- PhD, Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: Dus_man89@mail.ru

Information about the authors

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

Ziyatbekova G.- PhD, Acting Associate Professor Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ziyatbekova@mail.ru;

Altybay A.-PhD, Acting Associate Professor Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: arshyn.altymbay@gmail.com;

Nurbapa M.-PhD, Associate Professor of the Department of Computer Science, Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: nurbapa@mail.ru

Zhamangarin D. S.-PhD, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Dus_man89@mail.ru.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF USING THE SOFTWARE PRODUCT "ASSISTANT FOR THE PREPARATION OF TEST TASKS" TO TEST THE KNOWLEDGE OF STUDENTS**¹К.Акішев[✉], ¹А.Тулегүлов, ¹Д. Жамангарин, ¹З.Нұртай, ²Е. Оспанов**¹Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,²NJSC "Shakarim University", Semey, Kazakhstan[✉]Corresponding author: Akmail04cx@mail.ru

The educational and methodological set of documentation (UMKD) is an integral part of the educational process at a higher educational institution.

One of the types of control of a student at a higher educational institution is passing a test. Currently, it is the most common and popular tool used in many disciplines, providing a transparent, fast and quite practical way of verifying students' knowledge.

When developing tests, teachers use various programs, while spending quite a lot of time to prepare, first, control questions, and then add them to the appropriate program.

In this regard, the purpose of our research is the need to develop software code that allows you to use ChatGPT for the automated formation of test tasks when checking the knowledge of students.

The developed computer program "Assistant for the preparation of test tasks" allows you to automate the process of preparing test tasks for text of any volume and number of questions;

The program code can be used in educational institutions of the Ministry of Education and the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

The practical application of the developed program "Assistant for the preparation of test tasks" allows to increase the effectiveness of the teacher's work by 80% compared to existing analogues for the development of test tasks. At the same time, the quality and adequacy of the developed issues are at a high level.

Keywords: automation, information technology, software product, test tasks, efficiency, student.

БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫҢ БІЛІМІН ТЕКСЕРУ ҮШІН "ТЕСТ ТАПСЫРМАЛАРЫН ДАЙЫНДАУ КӨМЕКШІСІ" БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ӨНІМІН ПАЙДАЛАНУ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ**¹К.Акішев[✉], ¹А.Тулегүлов, ¹Д. Жамангарин, ¹Ж.Нұртай, ²Е.Оспанов**¹Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті АҚ, Астана, Қазақстан,²Шакарим атындағы университет КЕАҚ, Семей, Қазақстан,

e-mail: Akmail04cx@mail.ru

Құжаттаманың оқу-әдістемелік жиынтығы (ОӘК) жоғары оқу орнындағы оқу процесінің ажырамас бөлігі болып табылады.

Жоғары оқу орнында білім алушыны бақылаудың бір түрі-тест тапсыру. Қазіргі уақытта бұл көптеген пәндер бойынша қолданылатын ең кең таралған және танымал құрал, білім алушылардың білімін тексерудің мөлдір, жылдам және практикалық түрін қамтамасыз етеді.

Тесттерді әзірлеу кезінде мұғалімдер әртүрлі бағдарламаларды пайдаланады, ал алдымен тест сұрақтарын дайындауға, содан кейін оларды тиісті бағдарламаға енгізуге жеткілікті уақыт ресурстары жұмсалады.

Осыған байланысты, біздің зерттеуіміздің мақсаты білім алушылардың білімін тексеру кезінде тест тапсырмаларын автоматтандырылған қалыптастыру үшін chatgpt пайдалануға мүмкіндік беретін бағдарламалық кодты әзірлеу қажеттілігі болып табылады.

”Тест тапсырмаларын дайындау көмекшісі” компьютеріне арналған әзірленген бағдарлама тест тапсырмаларын дайындау процесін автоматтандыруға мүмкіндік береді, кез-келген көлемдегі мәтін мен сұрақтар саны үшін;

Бағдарламалық код Қазақстан Республикасы Білім министрлігі мен ғылым және жоғары білім министрлігінің Білім беру мекемелерінде пайдаланылуы мүмкін.

Әзірленген ”тест тапсырмаларын дайындау көмекшісі” бағдарламасын практикалық қолдану тест тапсырмаларын әзірлеу үшін қолданыстағы аналогтармен салыстырғанда оқытушының жұмыс тиімділігін 80% - ға арттыруға мүмкіндік береді. Бұл ретте әзірленген мәселелердің сапасы мен барабарлығы жоғары деңгейде.

Түйін сөздер: автоматтандыру, ақпараттық технологиялар, бағдарламалық өнім, тест тапсырмалары, тиімділік, білім алушы

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «ПОМОЩНИК ПОДГОТОВКИ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ» ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ

¹К.Акишев✉, ¹А.Тулегулов, ¹D.Zamangarin, ¹Ж. Нуртай, ²Е.Оспанов

¹Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан,

² НАО Университет Шакарима, Семей, Казахстан,

e-mail: Akmail04cx@mail.ru

Учебно-методический комплект документации (УМКД), является неотъемлемой частью учебного процесса в высшем учебном заведении.

Одним из видов контроля обучающегося в высшем учебном заведении является прохождение теста. В настоящее время –это наиболее распространенный и популярный инструмент используемый по многим дисциплинам, обеспечивающий, прозрачный, быстрый и довольно практичный вид проверки знаний обучающихся.

При разработке тестов преподаватели используют различные программы, при этом тратится довольно большой ресурс времени, чтобы подготовить, сначала контрольные вопросы, а затем внести их в соответствующую программу.

В этой связи, цель нашего исследования заключается в необходимости разработки программного кода позволяющего, использовать ChatGPT, для автоматизированного формирования тестовых заданий, при проверки знаний обучающихся.

Разработанная программа для ЭВМ «Помощник подготовки тестовых заданий» позволяет автоматизировать процесс подготовки тестовых заданий, для текста любого объема и количества вопросов;

Программный код может быть использован в образовательных учреждениях министерства образования и министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Практическое применение разработанной программы «Помощник подготовки тестовых заданий» позволяет повысить эффективность работы преподавателя на 80% по сравнению с существующими аналогами для разработки тестовых заданий. При этом качество и адекватность разработанных тестовых вопросов на высоком уровне.

Ключевые слова: автоматизация, информационные технологии, программный продукт, тестовые задания, эффективность, обучающийся

Introduction. The adoption of the Law on Digitalization in the Republic of Kazakhstan [1] requires the use of information technology achievements in all sectors of the economy, including in the field of education [2].

It should be understood that the effectiveness of obtaining high-quality education ensures objective control of students' knowledge and skills. In practice, two types of control are used – subjective and objective. The first one is characterized by the personal ideas of the examiner in relation to the student. And in practice, it may not always be objective, for a number of reasons, including the teacher's likes and dislikes for the student. As for the second type of control, which is now used both in schools and in higher educational institutions, they include a criterion-oriented test, which serves as a measure of the quality of learning by students.

If we ask ourselves why testing has become so widely used, then we get the answer:

- 1) a more adequate and reliable method that allows students to be put on an equal footing;
- 2) mobilizes the work of the brain in conditions of maximum concentration and responsibility;
- 3) Excludes human influence.

One of the main criteria of software products used for test control is saving time, as well as time spent on developing software code.

Although the material costs associated with the use of testing are much higher from the point of view of the organization, but the efficiency is much higher.

Table 1 shows the most common test development programs.

Table 1–Test development programs

Title	Functional
TestMaker	-editing previously created tests; -save test results; -adding graphic images; -Generate questions in random order.
RichTest	Differs from the previous one by the possibility of: -transition to theory to prepare for the test; -setting the difficulty of each question; -attaching a hint to a question; -the user switches to the training mode.
Examinator	Practically no different from TestMaker
MyTestXPro	The difference from the previous ones: -single selection; -multiple choice; -establishment of the order of succession; -establishing compliance; -indication of the truth or falsity of statements;
INDIGO	Features: -tasks for each group of individual settings.

The disadvantages of the above programs are the need for manual formation of questions, considerable time for the development of tests.

In this regard, there is a problem in the need to automate the preparation of test tasks while maintaining the quality of the questions, the ability to edit, the availability of adequate ergonomics and use for mobile applications.

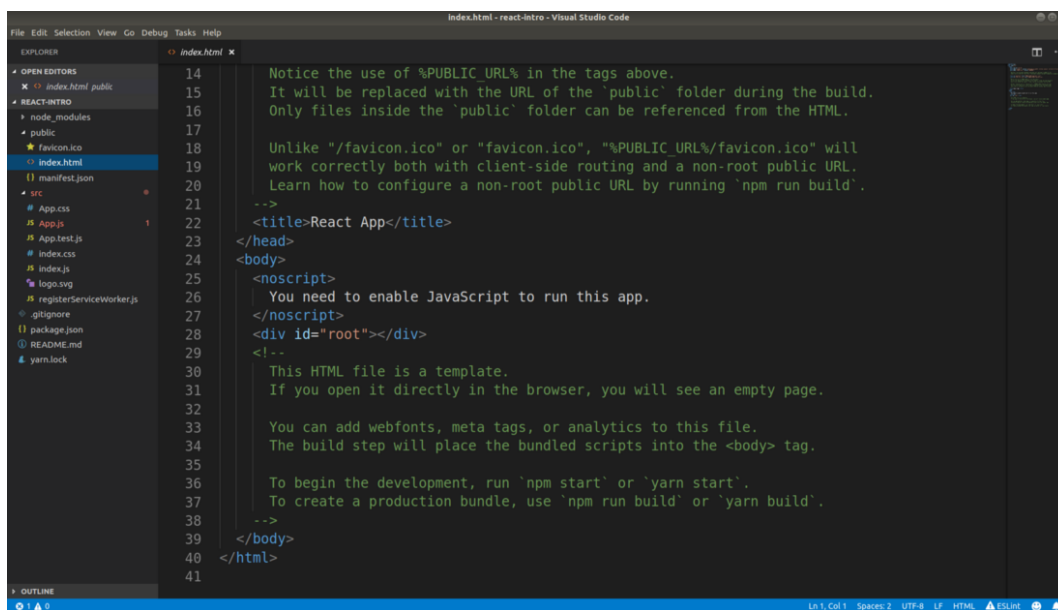
The purpose of the study: The development of software code that allows you to automate the

process of preparing test tasks using ChatGPT capabilities.

Materials and methods. The computer program "Assistant for preparing test tasks" was developed using JavaScript, HTML, CSS to create HTTP requests and interact with the ChatGPT API.

Discussion of the results. The development of the program code begins with going to the project folder and `http://localhost:3000` we will launch the development server.

Open the file located at the address (see fig.1)

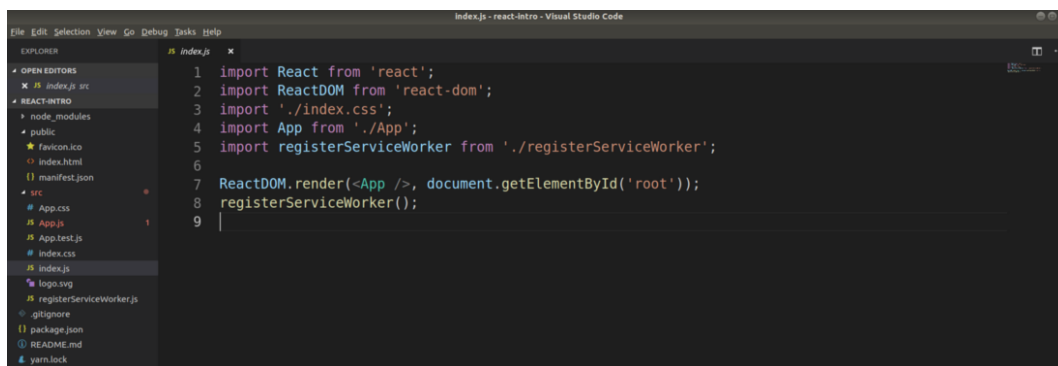


```

14 Notice the use of %PUBLIC_URL% in the tags above.
15 It will be replaced with the URL of the 'public' folder during the build.
16 Only files inside the 'public' folder can be referenced from the HTML.
17
18 Unlike "/favicon.ico" or "favicon.ico", "%PUBLIC_URL%/favicon.ico" will
19 work correctly both with client-side routing and a non-root public URL.
20 Learn how to configure a non-root public URL by running `npm run build`.
21
22 -->
23 <title>React App</title>
24 </head>
25 <body>
26 <noscript>
27   You need to enable JavaScript to run this app.
28 </noscript>
29 <div id="root"></div>
30 <!--
31   This HTML file is a template.
32   If you open it directly in the browser, you will see an empty page.
33
34   You can add webfonts, meta tags, or analytics to this file.
35   The build step will place the bundled scripts into the <body> tag.
36
37   To begin the development, run `npm start` or `yarn start`.
38   To create a production bundle, use `npm run build` or `yarn build`.
39 -->
40 </body>
41 </html>

```

Figure 1– Index.html files



```

1 import React from 'react';
2 import ReactDOM from 'react-dom';
3 import './index.css';
4 import App from './App';
5 import registerServiceWorker from './registerServiceWorker';
6
7 ReactDOM.render(<App />, document.getElementById('root'));
8 registerServiceWorker();
9

```

Figure 2–Index.js files

Our React application will be placed in the `<div id="root">` line. The element will be replaced with the application code, and everything else will remain the same. Open the `src / index.js` file, the React

application is located here, the source code of the application is located in the `src` directory (see fig. 2). Let's look at the code of our first component. `Src / App` (see fig. 3).

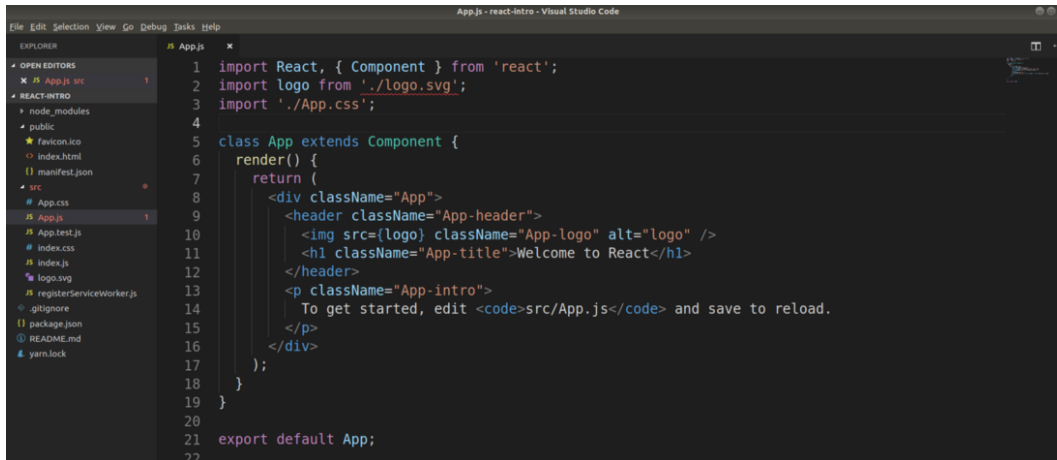


Figure 3– App.js files

Let's consider the principle of using ChatGPT in our study.

By creating HTTP API requests, we can interact with ChatGPT and receive responses in real time [3-8].

This requires tools and accounts in particular:

--Open ID account and API key (registering an account on the Open AI platform and obtaining an

API key to authenticate ChatGPT API requests;

-the presence of a Node.js and npm;

-a project in the React JS Project.

The next important point is to create a component to control the chat function (see listing 1 of the program code).The program is written using the Russian alphabet.

Listing 1 of the program code:

```
// Chat.js
import React, { useState } from 'react';
import axios from 'axios';

const chat = () => {
  const [input, setInput] = useState('');
  const [news, setMessages] = useState([]);

  const sendMessage = async () => {
    if (input.trim() === '') return;

    // ChatGPT API execute the request
    attempt {
      const answer = await axios.post(
        'https://api.openai.com/v1/engines/davinci-codex/completions',
        {

```

```

        definition: input,
        max_signs: 150,
      },
      {
        topic: {
          "Type_of_content": "application/json",
          'Authorization': 'Media_${process.conver.
            REACT_APP_OPENAI_API_KEY}'
        },
      },
    }
  );
  // Update the Status using the response
  thirty
  setMessages([...message, { text: input, type: 'user' }]);
  setMessages([...message, { text: answer.choice data[0].text, type:
    'month' }]);
  setInput('');
} catch (mistake) {
  consol.error('Error_sending_the_message:', error);
}
};

exit (
  <situation>
  <situation>
    {Message Card((message, index) => (
      <div key={index} className={message.}>input
        {information.type}
      </del>
    ))}
  </del>случай
  <>
    <type input="type"
      Im={input}
      onChange={ (e) => setInput(for example. a task. meaning)}
      Fill in="Enter_a_message..."
    />
    <button onClick={sendMessage}>Send</button>
  </del>
  </del>
);
};

```

Open AI Chatbot API Node.js provides developers with a framework for creating intelligent interactive web applications [9-12].

Let's consider a request to the server and create a download verification component and consider all this using React Hooks.

Let's create a new React: os create-rect-top rect-axios-table project.

Follow the link: [cd react-axios-table](#)

We use an array of objects as data for our project (see listing 2 of the program code).

Listing 2 of the program code:

```
{
  id: 101,
  firstName: 'Sue',
  lastName: 'Corson',
  email: 'DWhalley@in.gov',
  phone: '(612)211-6296',
  address: {
    streetAddress: '9792_Mattis_Ct',
    city: 'Waukesha',
    state: 'WI',
    zip: '22178'
  },
  description: 'et_lacus_magna_dolor...'
}
```

Importing axioms into a component that sends requests to the server: import axios from 'axis' in the project we use React Hooks, useState and import useEffect.

Adding the following code to the component: function App() { (see listing 3 of the program code).

Listing 3 of the program code:

```
const [appState, setAppState] = useState();

useEffect(() => {
  const apiUrl = 'http://www.filltext.com/?rows=32&id={number|1000}&
    firstName={firstName}&lastName={lastName}&email={email}&phone={
    phone|(xxx)xxx-xx-xx}&address={addressObject}&description={lorem
    |32}';
  axios.get(apiUrl).then((resp) => {
    const allPersons = resp.data;
    setAppState(allPersons);
  });
}, [setAppState]);
return (
<div className="app">

</div>
);
}
export default App;
```

The above code checks isLoading when data is loaded and shows a loading message, if isLoading is erroneous, it is returned.

Let's consider the description of the program code "Assistant for preparing test tasks". Fig. 4 shows the entrance to the program [13].

The user can log in as a teacher with admin rights, or as a student fig.5;6.

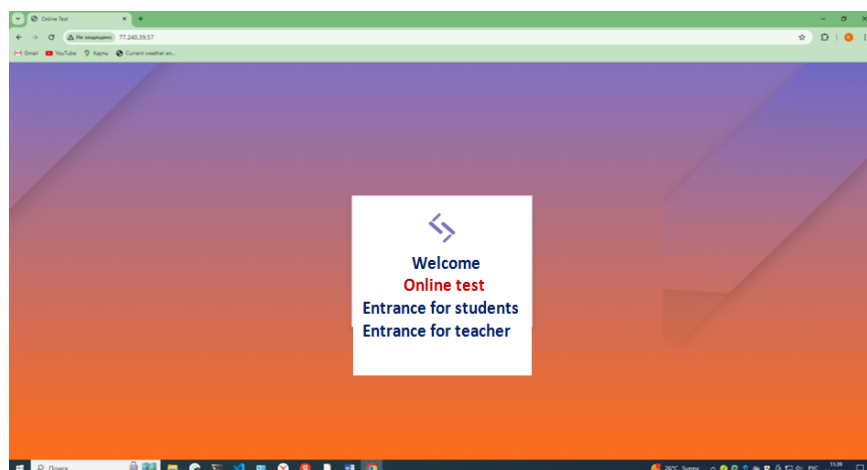


Figure 4–Login to the program

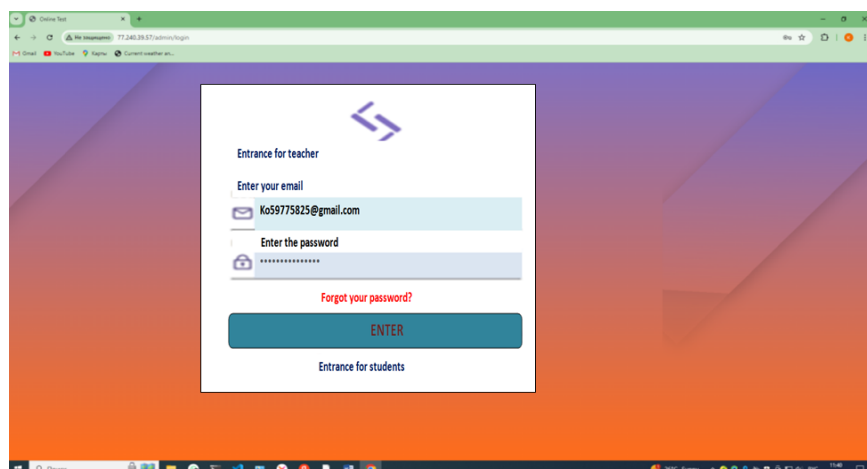


Figure 5–Entering the program as a teacher

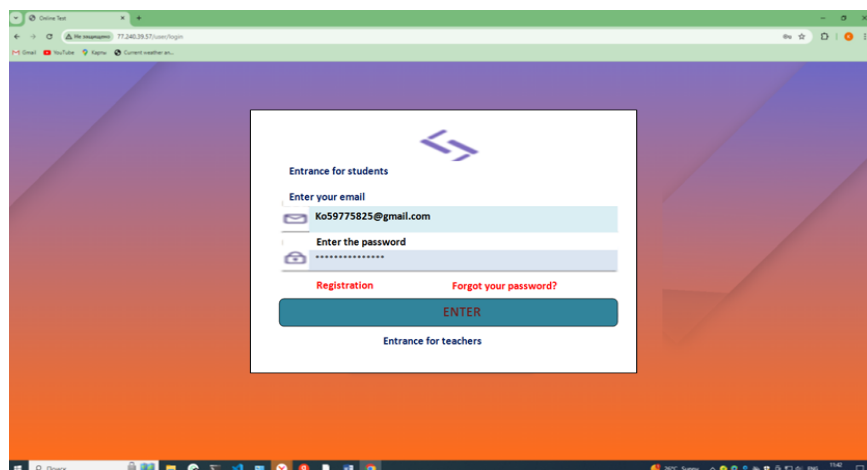


Figure 6–Entering the program as a student

The presented software product on the main page contains educational programs in the disciplines for which it is supposed to develop tests fig.7. Each educational program contains disciplines in which the student is tested fig.8.

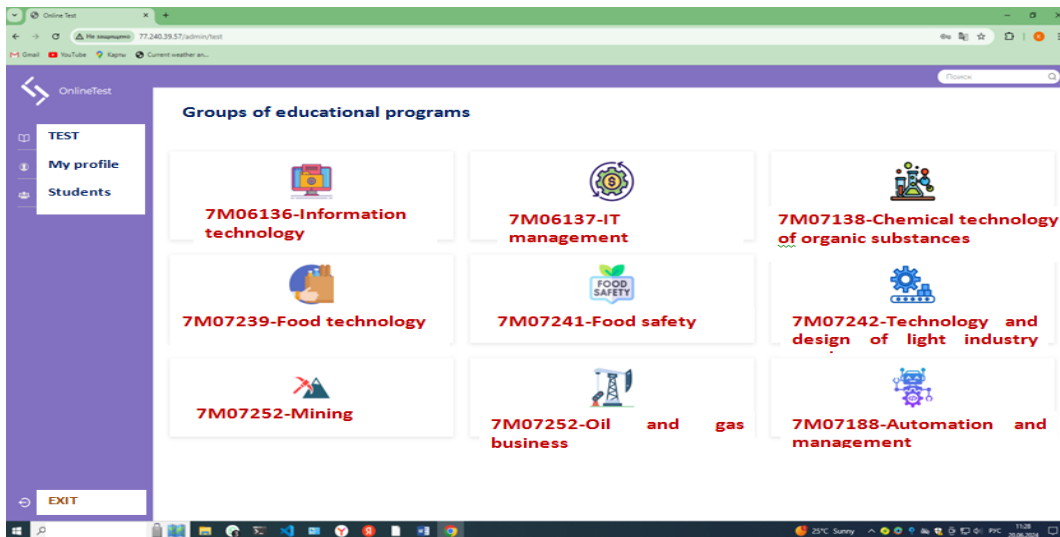


Figure 7–The main menu of the program code "Assistant for preparing test tasks"

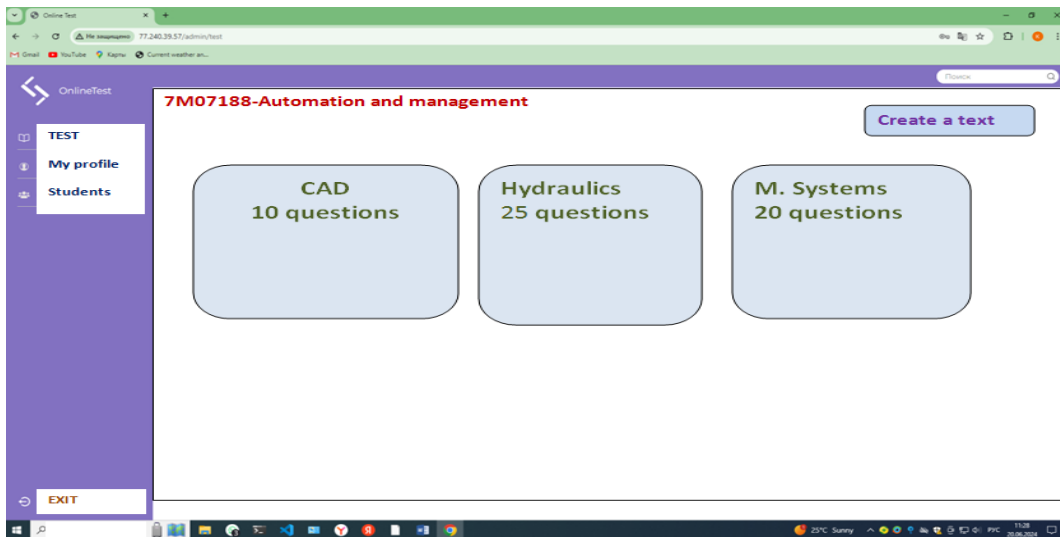


Figure 8–An example of disciplines for testing students

The development of tests begins with entering the name of the discipline (in our example, the subject "Controller Programming" for the educational program is Automation and control), the number of test questions, and the time to answer fig.9.

The user (teacher) enters the number of questions and the time to answer manually. The material for

the tests can be prepared in advance or obtained from the Internet, a textbook, a synopsis, etc. sources. After entering the text into the window, the "create test" button is pressed Fig.9. A few minutes are enough to create a test using ChatGPT for a large number of questions. In our test task (see fig. 8) 25 questions and 20 minutes to answer. We can see the result in fig. 10-11.

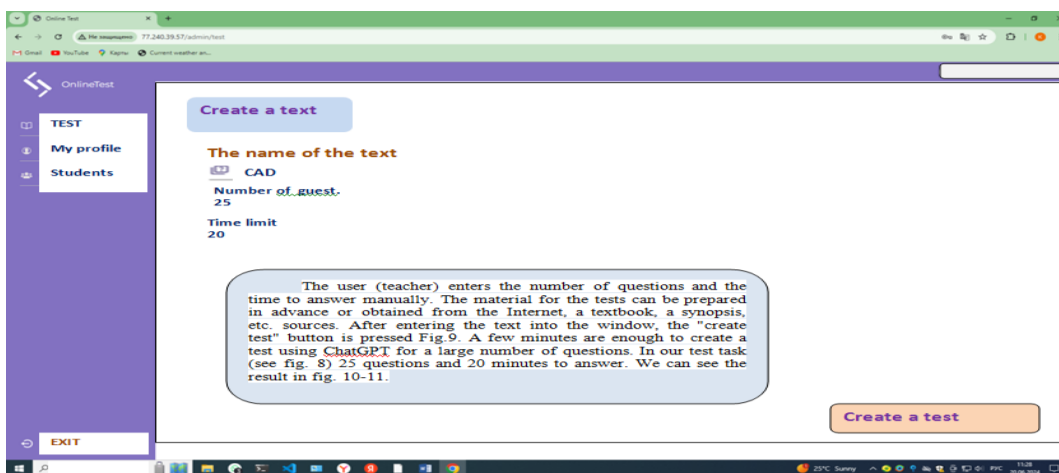


Figure 9–Development of test tasks

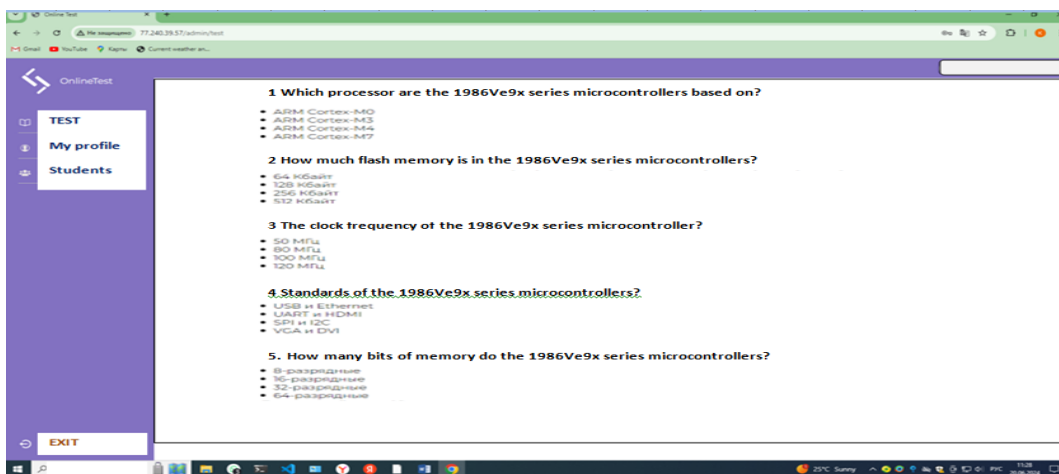


Figure 10– Developed test questions from 1-6

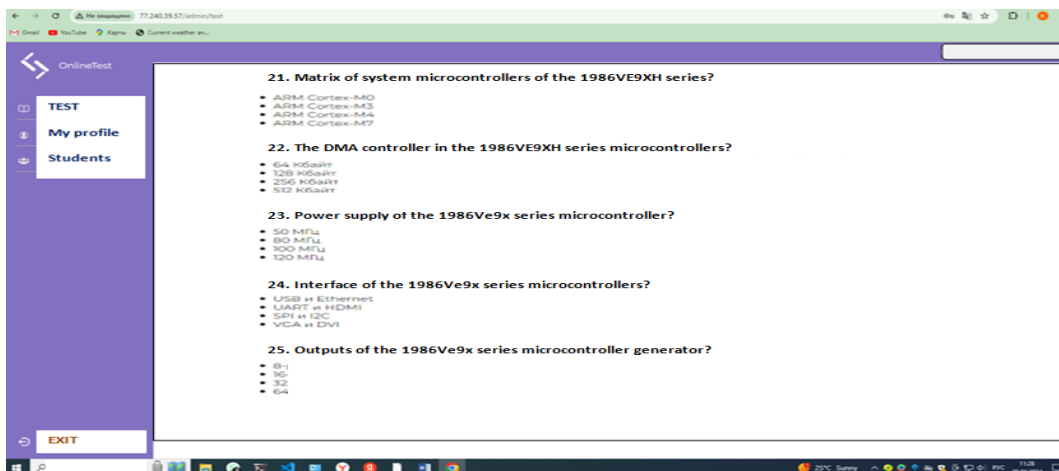


Figure 11– Developed test questions from 20-25

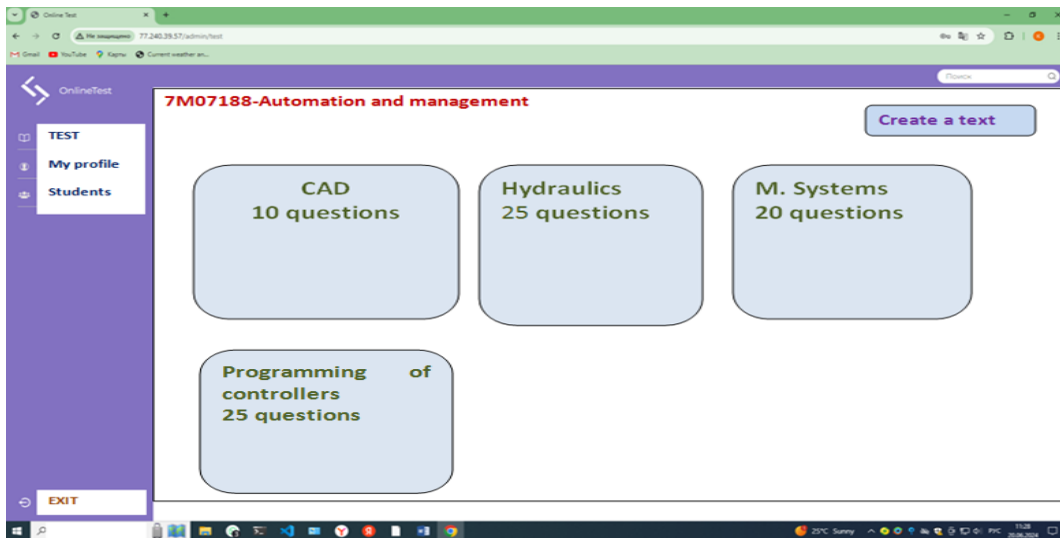


Figure 12- Developed test on the discipline "Controller programming"

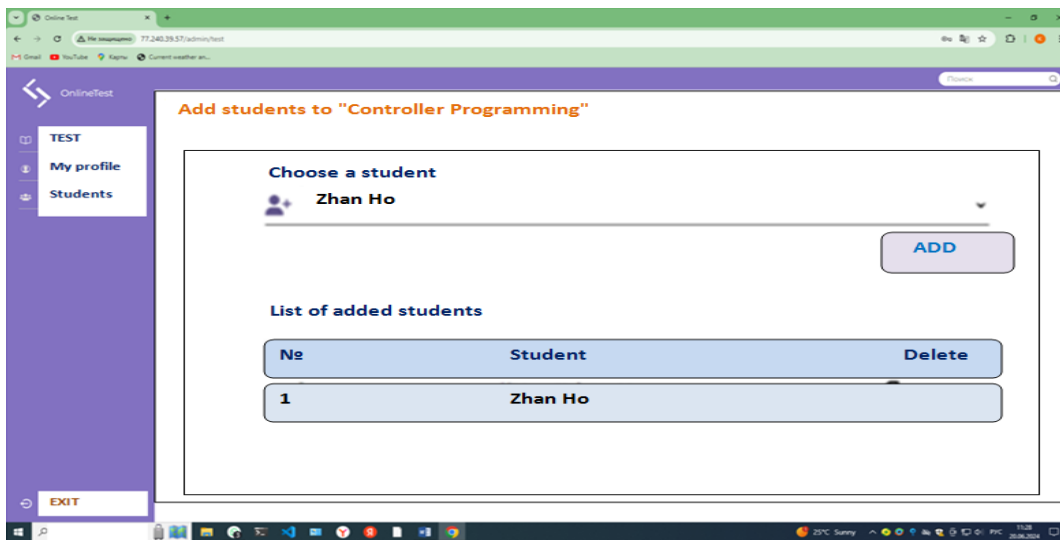


Figure 13-Adding students to control knowledge

The resulting test is automatically placed in the Educational Programs automation and Management folder fig.12.

Students of the groups are added to the appropriate discipline to complete the test tasks fig.13, this requires their login and email in gmail.com.

After the registration of a student, he can take a test to check his knowledge of the disciplines

of the educational program in accordance with the curriculum.

Fig. 14 shows the answer to the test tasks in the discipline "Controller programming".

The result of the response can be viewed in a separate folder fig.15.

The result of the answer is given as a percentage of the equivalent number of points received by students fig.16.

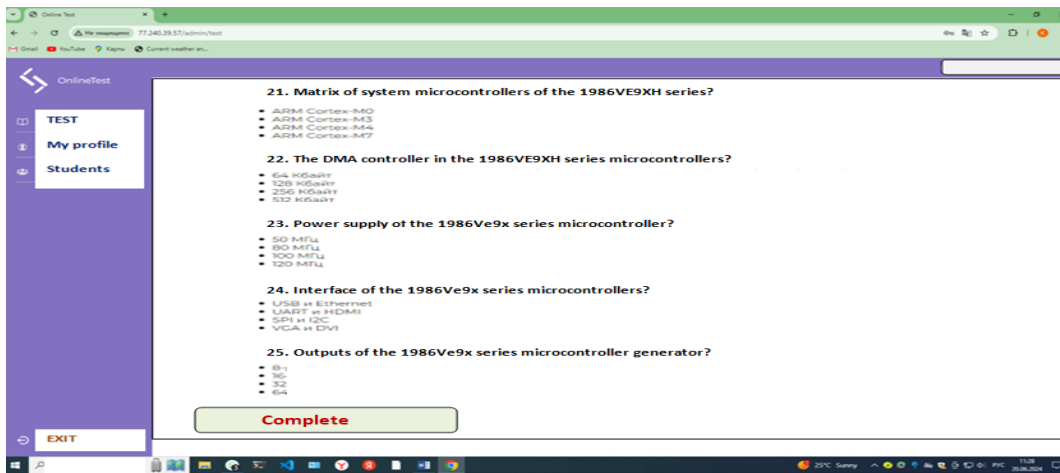


Figure 14- Completing the answers to the test

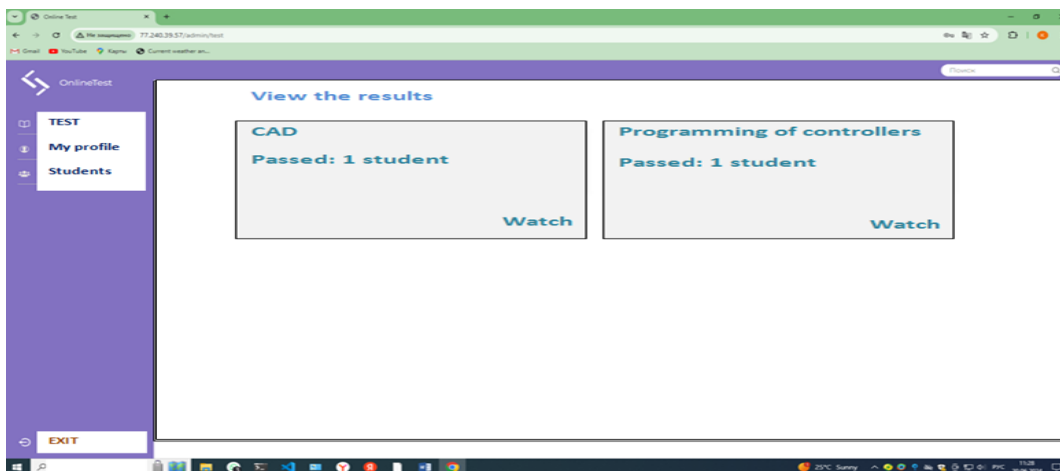


Figure 15–Storage location for students' answers

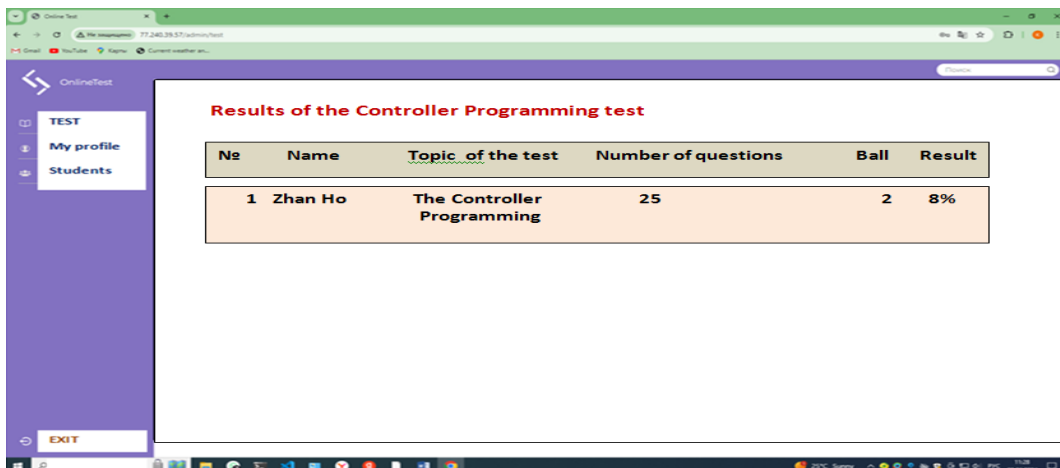


Figure 16–The result of the student's answer to the test questions

Currently, the program code does not generate graphical tasks, and it does not have the possibility of randomization, since these tasks were not set for research purposes.

Conclusion. The developed computer program "Assistant for the preparation of test tasks" allows you to automate the process of preparing test tasks for text of any volume and number of questions;

The program code can be used in educational institutions of the Ministry of Education and the

Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan and does not require high-performance computers and a large amount of memory.

The practical application of the developed program "Assistant for the preparation of test tasks" allows to increase the effectiveness of the teacher's work by 80% compared to existing analogues for the development of test tasks. At the same time, the quality and adequacy of the developed issues are at a high level.

References

1. Zakon Respubliki Kazakhstan. O vnesenii izmenenii i dopolnenii v netkotorie zakonodatel'nie akti Respubliki Kazakhstan po voprosam stimulirovaniya innovacii, razvitiya cifrovizacii, informacionnoi bezopasnosti i obrazovaniya. Rasporyazhenie Prem'er ministra RK ot 25 avgusta 2022 goda № 128-r. URL:https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=33516174. [in Russ.]
2. Nestik T.A., Zhuravlev A.L. Social'no psikhologicheskaya determinaciya gotovnostilichnosti k ispolzovaniyu novikh tekhnologii [Socio-psychological determination of a person's readiness to use new technologies// Psychological Journal.- 2018.-T.39(5). -C. 5-14. DOI 10.31857/S020595920000829-7 [in Russ.]
3. Brazdil, P., Jorge, A. Progress in Artificial Intelligence: Knowledge Extraction, Multi-Agent Systems, Logic Programming, and Constraint Solving; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2001.-418P. ISBN 9783540430308
4. M. Montenegro-Rueda, J. Fernández-Cerero, José M. Fernández-Batanero, E. López-Meneses. Impact of the Implementation of ChatGPT in Education: A Systematic Review.//Computers.- 2023.- Vol.12(8).- P. 153.-P.1-13. DOI 10.3390/computers12080153
5. García-Peña, V.R.; Mora-Marcillo, A.B.; Ávila-Ramírez, J.A. La inteligencia artificial en la educación// Domino De Las Cienc. -2020.-Vol. 6 (3).- P. 648-666. DOI 10.23857/dc.v6i3.1421
6. Incio Flores, F.A., Capuñay Sánchez, D.L., Estela Urbina, R.O., Valles Coral, M.A., Vergara Medrano, S.E., EleraGonzález, D.G. Inteligencia artificial en educación: Una revisión de la literatura en revistas científicas internacionales// Revista de Investigación Apuntes Universitarios. - 2022.-Vol. 12(1)- P.353-372. DOI 10.17162/au.v12i1.974
7. Neuman, M.; Rauschenberger, M.; Schön, E.M. We Need To Talk About ChatGPT: The Future of AI and Higher Education//Hochschule Hannover.-2023.- P.1-4. DOI 10.25968/opus-2467
8. García Sánchez, O.V. Uso y Percepción de ChatGPT en la Educación Superior// RITI Journal-2023.- Vol. 11(23).- P.98-107. DOI 10.36825/RITI.11.23.009
9. Osorio, J.A.C. Explorando el potencial de ChatGPT en la escritura científica: Ventajas, desafíos y precauciones// Sci. Et Tech.-2023.-Vol.28(01).- P.3-5. DOI 10.22517/23447214.25303
10. Qadir, J. Engineering Education in the Era of ChatGPT: Promises and Pitfalls of Generative AI for Education//IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON).- 2023. DOI 10.1109/EDUCON54358.2023.10125121
11. Wang T., Lund B.D., Marengo A., Pagano A., Mannuru N.R., Teel Z.A., Pange J. Exploring the Potential Impact of Artificial Intelligence (AI) on International Students in Higher Education: Generative

AI, Chatbots, Analytics, and International Student Success// Appl.Sci -2023. -Vol. 13, 6716. DOI 10.20944/preprints202305.0808.v1

12. García-Peñalvo, F.J. La percepción de la Inteligencia Artificial en contextos educativos tras el lanzamiento de ChatGPT: Disrupción o pánico // Educ. Knowl. Soc. (EKS). -2023.-Vol 24, e31279. DOI 10.14201/eks.31279

13 Akishev K. Computer program "Assistant for the preparation of test tasks. Certificate of entry of information into the State register of rights to copyrighted objects No. 48275 dated July 10, 2024. NIISRK.

Information about the authors

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

Tulegulov A. D.- Candidate of physics and mathematics Sciences, Ass. Professor, Kazakh University of Technology and Business named after. K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail:tud62@yandex.ru;

Zhamangarin D. S.- Ph.D., Ass. Professor, Kazakh University of Technology and Business named after. K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan e-mail:dus_man89@mail.ru;

Nurtai Z.T. - Ph.D., Ass. Professor, Kazakh University of Technology and Business named after. K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru;

Ospanov E. A.- PhD, Associate Professor, NAO Shakarim University, Semey, Kazakhstan, e-mail:78oea@mail.ru

Информация об авторах

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

Тулегулов А. Д.- к.ф.м.н., асс. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан: e-mail:tud62@yandex.ru;

Жамангарин Д. С.- доктор PhD , асс. профессор Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail:dus_man89@mail.ru;

Нуртай Ж.Т. - доктор PhD, асс. профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru;

Оспанов Е. А.- доктор PhD, асс. профессор, НАО «Университет имени Шакарима, Семей, Казахстан, e-mail:78oea@mail.ru

ТАБИҒИ ТІЛДЕ ПАЙДАЛАНУШЫ ИНТЕРФЕЙСТЕРІН ҚҰРУ ӘДІСТЕРІ

**¹А.Ж. Танирбергенов, ¹С.К. Серикбаева✉, ²Б.У. Бөбеева, ³Ш.Е. Ахметжанова,
³А.Д. Абдувалова**

¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан,

²Орталық Азия Инновациялық Университеті, Шымкент, Қазақстан,

³М.Х.Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан

✉Корреспондент-автор: inf_8585@mail.ru

Қазіргі заманғы технологиялық даму жағдайында пайдаланушы интерфейстері адамның компьютерлік бағдарламалармен немесе құрылғылармен өзара әрекеттесуінде маңызды рөл атқарады, бұл олардың қарапайымдылығы, тиімділігі және жалпы пайдаланушы тәжірибесін анықтайды. NLP UI идеясы табиғи тілді өңдеу (NLP), машиналық оқыту және жасанды интеллект алгоритмдерін қолдануға негізделген. Зерттеу барысында осындай интерфейстерді құру әдістері, олардың артықшылықтары мен шектеулері, сонымен қатар оларды одан әрі дамыту перспективалары талқыланды. ТТИ платформаларын талдау, мысалы, Google Dialogflow, Microsoft Bot Framework, Wit.ai, IBM Watson Assistant және Amazon Lex, пайдаланушыға ыңғайлы интерфейстерді дамытуда маңызды рөл атқарады. Әдістер мен материалдар бөлімінде табиғи тілде пайдаланушы интерфейстерін жасауға арналған қолданыстағы әдістер, соның ішінде сөйлеуді тану және синтездеу жүйелері, машиналық оқыту алгоритмдері және морфологиялық, синтаксистік және семантикалық талдау талқыланады. Бұл тәсілдер пайдаланушы сұраныстарын тереңірек түсінуге және дәлірек жауаптар беруге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: табиғи тіл, интерфейс, табиғи тілді өңдеу (NLP), семантика, сұраныс.

МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

**¹А.Ж. Танирбергенов, ¹С.К. Серикбаева✉, ²Б.У. Бөбеева, ³Ш.Е. Ахметжанова,
³А.Д. Абдувалова**

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан ,

²Центрально-Азиатский инновационный университет, Шымкент, Казахстан,

³Таразский региональный университет им.М. Х. Дулати, Тараз, Казахстан,

e-mail:inf_8585@mail.ru

В данной работе рассматриваются методы и технологии создания пользовательских интерфейсов на естественном языке. В условиях современного технологического развития пользовательские интерфейсы играют важную роль во взаимодействии человека с компьютерными программами и устройствами, что определяет их простоту, эффективность и общий пользовательский опыт. Идея пользовательского интерфейса на основе NLP основана на использовании алгоритмов обработки естественного языка (NLP), машинного обучения и искусственного интеллекта. В ходе исследования обсуждались методы создания таких интерфейсов, их преимущества и ограничения, а также перспективы дальнейшего развития. Анализ платформ ТТИ, таких как Google Dialogflow, Microsoft Bot Framework, Wit.ai, IBM Watson Assistant и Amazon Lex, показал их важную роль в разработке удобных интерфейсов. В разделе "Методы и материалы" обсуждаются существующие методы создания

пользовательских интерфейсов на естественном языке, включая системы распознавания и синтеза речи, алгоритмы машинного обучения, а также морфологический, синтаксический и семантический анализ. Эти подходы позволяют глубже понять запросы пользователей и давать более точные ответы.

Ключевые слова: естественный язык, интерфейс, обработка естественного языка (NLP), семантика, запрос.

METHODS FOR CREATING USER INTERFACES IN NATURAL LANGUAGE

¹A. Tanirbergenov, ¹S. Serikbayeva✉, ²B. Bobeeva, ³Sh. Akhmetzhanova, ³A. Abduvalova

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Department of Information Systems, Astana, Kazakhstan,

²Central Asian Innovation University, Shymkent, Kazakhstan,

³Taraz Regional University named after M.KH.Dulaty, Taraz, Kazakhstan,

e-mail: inf_8585@mail.ru

This paper discusses methods and technologies for creating user interfaces in natural language. In the context of modern technological development, user interfaces play an important role in human interaction with computer programs and devices, which determines their simplicity, efficiency and overall user experience. The idea of an NLP-based user interface is based on the use of natural language processing (NLP) algorithms, machine learning and artificial intelligence. The research discussed methods for creating such interfaces, their advantages and limitations, as well as prospects for further development. Analysis of TTI platforms such as Google Dialogflow, Microsoft Bot Framework, Wit.ai, IBM Watson Assistant and Amazon Lex, showed their important role in the development of user-friendly interfaces. The Methods and Materials section discusses existing methods for creating user interfaces in natural language, including speech recognition and synthesis systems, machine learning algorithms, as well as morphological, syntactic and semantic analysis. These approaches allow for a deeper understanding of user requests and provide more accurate answers.

Keywords: natural language, interface, natural language processing (NLP), semantics, query.

Кіріспе. Технологияны дамытудың қазіргі элемінде пайдаланушы интерфейстері адамның компьютерлік бағдарламамен немесе құрылғымен өзара әрекеттесуінде шешуші рөл атқарады. Олар пайдаланудың қарапайымдылығын, жұмыс тиімділігін және жалпы пайдаланушы тәжірибесін анықтайды. Осы саладағы елеулі жетістіктерге қарамастан, ыңғайлы және интуитивті пайдаланушы интерфейстерін құру әзірлеушілер үшін қиын болып қала береді.

Бұл мәселені шешудің инновациялық тәсілдерінің бірі-табиғи тілде пайдаланушы интерфейстерін құру әдісі (natural language UI, NLP UI). Бұл әдіс пайдаланушыларға басқа адаммен сөйлесу сияқты табиғи тілді қолдана отырып, бағдарламалық жасақтамамен немесе құрылғымен өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл ин-

туитивті және икемді өзара әрекеттесудің жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Табиғи тілде пайдаланушы интерфейстерін құру идеясы табиғи тілді өңдеу алгоритмдерін (Natural Language Processing, NLP), машиналық оқытуды және жасанды интеллектті қолдануға негізделген. Бұл технологиялар жүйелерге табиғи тілді түсінуге және түсіндіруге, сондай-ақ тиісті жауаптар мен командаларды құруға мүмкіндік береді [1].

NLP UI артықшылықтары айқын: бұл құрылғылар мен бағдарламалық жасақтаманың өзара әрекеттесуін пайдаланушылар үшін табиғи және интуитивті етеді, бұл оқу уақытын қысқартады және пайдалану тиімділігін арттырады. Осының арқасында пайдаланушылар жаңа өнімдер мен

қызметтерді тезірек игере алады, сонымен қатар күнделікті тапсырмаларды тиімдірек орындай алады.

Дегенмен, оның артықшылықтарына қарамастан, табиғи тілде пайдаланушы интерфейстерін жасау да өзінің қиындықтары мен шектеулеріне тап болады. Олардың бірі-пайдаланушы сұраныстарын дәл түсінудің қиындығы, әсіресе тілдің түсініксіз немесе күрделі конструкциялары жағдайында.

Дегенмен, технологияның дамуымен және жаңа NLP әдістері мен алгоритмдерінің пайда болуымен бұл мәселелер біртіндеп азайып, табиғи тілдегі пайдаланушы интерфейстерін барған сайын танымал және қолжетімді етеді. Бұл зерттеуде біз осындай интерфейстерді құрудың әртүрлі әдістерін, олардың артықшылықтары мен шектеулерін және оларды одан әрі дамыту перспективаларын қарастырамыз.

Табиғи тілдік интерфейстерді (ТТИ) құру платформаларын талдау табиғи тілді өңдеу саласын дамытудағы маңызды қадам болып табылады (Natural Language Processing, NLP). Бұл платформалар әзірлеушілерге техникалық мәліметтерді терең түсінбестен мәтін мен сөйлеуді өңдеу мүмкіндіктерін қолданбалар мен қызметтерге біріктіруге мүмкіндік береді.

Бірінші назар аударарлық платформа - Google-дің Dialogflow. Ол чатботтарды, виртуалды көмекшілерді және басқа да ТТИ -ді құрудың кең функционалдығын ұсынады. Dialogflow мәтінді талдаудың, интенттер мен контекстті анықтаудың және басқа Google қызметтерімен интеграциялаудың қуатты құралдарына ие [2].

Тағы бір маңызды платформа-Microsoft Bot Framework. Бұл мәтіндік ғана емес, сонымен қатар дауыстық интерфейстерді де қолдайтын чат-боттарды әзірлеуге арналған құралдар жиынтығы. Azure интеграциясының арқасында Bot Framework Машиналық оқыту модельдерінің ауқымдылығы мен оқу мүмкіндіктерін ұсынады.

Wit.ai Facebook-тен-ТТИ -ді дамытуға арналған тағы бір танымал платформа. Ол қолданудың қарапайымдылығымен және әртүрлі тілдерді жақсы қолдауымен танымал. Wit.ai мәтін

мен аудионы өңдеуге арналған API, сондай-ақ өз модельдеріңізді құруға және үйретуге арналған құралдарды ұсынады.

IBM Watson Assistant-бұл ТТИ құрудың тағы бір қуатты құралы. Ол интентті тану, мәтіннің тоналдылығын талдау және әртүрлі байланыс арналарымен интеграциялау сияқты көптеген мүмкіндіктерді ұсынады. Watson Assistant сонымен қатар көмекшілерді масштабтау және жекелендіру мүмкіндіктерін ұсынады.

Amazon Lex-Amazon Web Services компаниясының табиғи тілді өңдеу қызметі. Ол сөйлеуді тану және синтездеу мүмкіндіктерін, сондай-ақ басқа AWS қызметтерімен интеграцияны қамтамасыз етеді. Amazon Lex дайын модельдер мен машиналық оқыту құралдарын қолдана отырып, жоғары деңгейлі ТТИ құруға мүмкіндік береді.

Табиғи тілде пайдаланушы интерфейстерін құруда адам мен компьютерлік жүйенің тиімді өзара әрекеттесуін анықтайтын іргелі теориялық принциптер бар. Бұл принциптерге лингвистикалық негіздер, өзара әрекеттесу психологиясы, интерфейс дизайны, табиғи тілді өңдеу технологиялары (NLP), Машиналық оқыту және интерфейс психологиясы кіреді.

Лингвистикалық принциптер сәйкес сөздер мен сөз тіркестерін таңдауға, мәтінді құрылымдауға және пайдаланушылардың сұраныстарын дұрыс түсіндіруге мүмкіндік береді. Өзара әрекеттесу психологиясы ақпаратты қабылдау, шешім қабылдау және кері байланысқа жауап беру ерекшеліктерін ескеруге көмектеседі. Интерфейс дизайны ыңғайлы және тартымды интерфейсдерді құруға ықпал ететін ақпараттың визуалды ұйымдастырылуын анықтайды [3].

Табиғи тілді өңдеу технологиялары (NLP) табиғи тілдегі мәтінді талдауды, түсінуді және генерациялауды қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Машиналық оқыту және жасанды интеллект интерфейстерге пайдаланушы тәжірибесі негізінде жұмысын жақсартуға мүмкіндік береді. Интерфейс психологиясы адамдардың интерфейс-термен қалай әрекеттесетінін түсінуге көмектеседі және оларды оңтайландыру принциптерін ұсынады. Осы теориялық негіздердің барлығы

пайдаланушылардың қажеттіліктеріне сәйкес келетін және пайдаланудың ыңғайлылығы мен тиімділігін қамтамасыз ететін табиғи тілде пайдаланушы интерфейстерін құруды қамтамасыз ету арқылы өзара әрекеттеседі.

Іс жүзінде осы теориялық принциптерді қолдану кешенді тәсілді және нақты жағдайды мұқият талдауды қажет етеді. Бұл талдау мақсатты аудиторияның ерекшеліктерін, олардың қажеттіліктерін, жүйені пайдалану мәнмәтінін, сондай-ақ техникалық шектеулер мен мүмкіндіктерді зерттеуді қамтиды. Келесі кадам-интерфейстің прототиптерін жасау және пайдаланушылардың қатысуымен тестілеу. Бұл пайдаланушылардың нақты қажеттіліктері мен қалауларын ескере отырып, кері байланыс алуға және интерфейстің дизайны мен функционалдығына түзетулер енгізуге мүмкіндік береді. Алынған кері байланыс пен пайдалану ортасындағы өзгерістер негізінде интерфейсті үнемі жетілдіру және жаңарту оның өзектілігі мен тиімділігін сақтаудың негізгі аспектісі болып табылады [4]. Осылайша, табиғи тілде пайдаланушы интерфейстерін құрудың теориялық негіздері пайдаланушы тәжірибесін жақсартуға және мақсаттарға жетуге ықпал ететін ыңғайлы, интуитивті және тиімді жүйелерді әзірлеу бойынша практикалық жұмыстың негізін құрайды.

Пайдаланушы интерфейстеріндегі табиғи тіл ұғымы адам мен компьютерлік жүйенің өзара әрекеттесуінің ыңғайлылығы мен тиімділігін қамтамасыз етуде шешуші рөл атқарады. Бұл контексттегі табиғи тіл пайдаланушылардың өз ойлары мен сұрауларын арнайы командаларды немесе техникалық терминдерді үйренуді қажет етпестен, әдеттегі әңгімедегідей жеткізе білу қабілетін білдіреді. Табиғи тілді пайдалану техникалық дайындық деңгейіне қарамастан, пайдаланушылардың кең ауқымы үшін интуитивті интерфейс жасауға мүмкіндік береді. Мұндай интерфейс табиғи және ыңғайлы өзара әрекеттесуді қамтамасыз етеді, кіру шегін азайтады және оқу процесін жылдамдатады.

Пайдаланушы интерфейстерінде табиғи тілді қолданудың бір мысалы-Apple, Google Assistant және Amazon Alexa Siri сияқты виртуалды көмекшілер. Бұл жүйелер пайдаланушыларға табиғи

тілді қолдана отырып, сұрақтар қоюға және дауыспен командалар беруге мүмкіндік береді, бұл өзара әрекеттесу процесін табиғи және ыңғайлы етеді.

Пайдаланушы интерфейстерінде табиғи тіл ұғымын одан әрі дамыту Машиналық оқыту және табиғи тілді өңдеу (Natural Language Processing, NLP) технологияларымен интеграцияны қамтиды. Бұл жүйелерге сұраныстардың мәнмәтінін түсінуге, тілдің нюанстарын ескеруге және тіпті пайдаланушылардың кері байланысы негізінде қабілеттерін жақсартуға мүмкіндік береді.

Қазіргі заманғы қосымшалар мен құрылғыларда табиғи тілді талдау негізінде жұмыс істейтін автотолтыру және автоматты түзету функциялары жиі кездеседі. Бұл теруді жылдам әрі ыңғайлы етеді, қателіктер ықтималдығын азайтады.

Табиғи тіл сонымен қатар Ақылды үйді басқаруға арналған интерфейс саласында маңызды рөл атқарады, мұнда пайдаланушылар өз құрылғыларын табиғи тілдегі қарапайым командаларды қолдана отырып басқара алады, бұл өмірді ыңғайлы және тиімді етеді.

Бұл тұжырымдаманың болашақ дамуы сөйлеуді тану мен контекстті түсінудің одан да жетілдірілген технологияларын қамтуы мүмкін, бұл пайдаланушы интерфейстеріндегі адам мен компьютерлік жүйе арасындағы одан да табиғи және икемді өзара әрекеттесуге әкеледі.

Пайдаланушы интерфейстеріндегі табиғи тіл (Natural Language in User Interfaces) – бұл пайдаланушыға орыс немесе ағылшын сияқты қарапайым адам тілін қолдана отырып, компьютерлік жүйемен немесе қосымшамен өзара әрекеттесу мүмкіндігін беру тәсілі. Бұл интерфейс ті түсінікті, қол жетімді және пайдаланушыларға ыңғайлы етеді, өйткені олар белгілі бір командаларды немесе интерфейс элементтерін есте сақтаудың қажеті жоқ.

Пайдаланушы интерфейстерінде табиғи тілді қолдану сөйлеуді тану және синтездеу функцияларын, мәтінді өңдеуді, семантиканы талдауды және т.б. қамтуы мүмкін [5]. Бұл пайдаланушыларға жүйе автоматты түрде түсіндіретін және өңдейтін өз тілін пайдаланып сұрақтар қоюға, ко-

мандалар беруге немесе ақпарат сұрауға мүмкіндік береді.

Бұл тәсіл құрылғылармен және қосымшалармен өзара әрекеттесуді едәуір жеңілдетеді, әсіресе техникалық интерфейстермен тәжірибесі жоқ немесе белгілі бір командаларды үйренуге уақыт жұмсағысы келмейтін пайдаланушылар үшін. Сондықтан әзірлеушілер ыңғайлы және интуитивті пайдаланушы интерфейстерін жасау үшін әртүрлі табиғи тіл технологияларын белсенді түрде зерттейді және енгізеді.

Пайдаланушы интерфейстеріндегі табиғи тілдің көптеген артықшылықтары бар. Ең бастысы-интерфейстің қол жетімділігі мен ыңғайлылығын жақсарту [6]. Пайдаланушыларға құрылғымен немесе қосымшамен өзара әрекеттесу оңайырақ және ыңғайлы болады, өйткені олар күрделі командаларды немесе интерфейс функционалдығын есте сақтаудың қажеті жоқ.

Сонымен қатар, табиғи тілді қолдану интуитивті және жекелендірілген өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді. Пайдаланушылар өздерінің сұраныстары мен тілектерін табиғи стильде білдіре алады, бұл пайдалану тәжірибесін жағымды және тиімді етеді.

Табиғи тілді өңдеу технологиялары үнемі дамып келеді және күн өткен сайын дәлірек және жетілдіріліп отырады. Бұл Пайдаланушының тілін түсініп қана қоймай, оның қалауы мен мінез-құлқына бейімделе алатын ақылды интерфейстерді құрудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Тұтастай алғанда, пайдаланушы интерфейстерінде табиғи тілді пайдалану технологияны пайдаланушылардың барлық санаттары үшін мейірімді және қолжетімді етуге көмектеседі, бұл әртүрлі құрылғылар мен қолданбалардың қанағаттану деңгейі мен тиімділігіне ықпал етеді.

Материалдар мен әдістер. Табиғи тілде пайдаланушы интерфейстерін жасау (Natural Language User Interfaces, NLU) қазіргі ақпараттық технологиялар әлемінде барған сайын танымал бола түсуде. Бұл компьютерлік жүйелермен өзара әрекеттесудің ыңғайлы және интуитивті тәсілдеріне қажеттіліктің артуына байланысты. Осы саладағы қолданыстағы әдістер мен техноло-

гияларды шолу қазіргі даму жағдайын және одан әрі даму бағыттарын түсінуге мүмкіндік береді.

Табиғи тілде пайдаланушы интерфейстерін құрудың негізгі әдістерінің бірі табиғи тілді өңдеу (NLP) технологияларын пайдалану болып табылады. Бұл технологиялар компьютерлерге табиғи тілді түсінуге және талдауға мүмкіндік береді, олар пайдаланушылармен адамдар сияқты әрекеттесе алатын интерфейстер жасауға мүмкіндік береді [7].

Қолданыстағы әдістер мен технологиялардың ішінде пайдаланушыларға дауыстық командалар мен сұраныстарды пайдалана отырып, компьютермен өзара әрекеттесуге мүмкіндік беретін сөйлеуді тану және синтездеу жүйелері ерекшеленеді. Мұндай жүйелер пайдаланушыларға ыңғайлы болу үшін дауыстық көмекшілерде, мобильді құрылғыларда және басқа қолданбаларда белсенді қолданылады.

Табиғи тілдегі пайдаланушы интерфейстерін құрудың тағы бір маңызды аспектісі машиналық оқыту алгоритмдерін әзірлеу және пайдалану болып табылады. Бұл алгоритмдер интерфейстерді тиімдірек және пайдалануды жеңілдете отырып, пайдаланушының әртүрлі байланыс мәнерлері мен сипаттамаларына бейімделе алатын үлгілерді жасауға мүмкіндік береді.

Табиғи тілде пайдаланушы интерфейстерін құру саласындағы елеулі жетістіктерге қарамастан, одан әрі зерттеу мен дамытуды талап ететін көптеген қиындықтар мен мәселелер әлі де бар [8]. Оларға сөйлеуді тану дәлдігін жақсарту, контекстті түсінуді жақсарту және компьютерлік жүйелермен бай қарым-қатынас жасау үшін басқа технологиялармен біріктіру кіреді.

Интерфейс пайдаланушының өзара әрекеттесуінің ыңғайлылығы мен тиімділігін қамтамасыз етуге арналған кез келген бағдарламалық жүйенің ажырамас бөлігі болып табылады. Ол соңғы пайдаланушыға бағытталған және бағдарлама туралы жалпы әсерді қалыптастыруда негізгі рөл атқарады. Көбінесе пайдаланушы интерфейстің ыңғайлылығы мен анықтығына негізделген қолданбаны пайдалануды шешеді.

Интерфейсті әзірлеу – пайдаланушының қа-

жеттіліктерін мұқият талдауды және түсінуді талап ететін күрделі және көп уақытты қажет ететін процесс. Сарапшылардың пікірінше, интерфейсті жобалау және әзірлеу жобаны жүзеге асыруға келетін уақыттың жартысынан көбін құрайды [9].

Интерфейстің функционалдық аспектілерін ғана емес, сонымен қатар оның эстетикалық дизайнын, визуалды әсерін және ыңғайлылығын да ескеру маңызды. Идеал интерфейс интуитивті, шарлау оңай және мақсатты аудиторияның қажеттіліктерін қанағаттандыруы керек. Бағдарламаның әсері және оның нарықта сәтті жүзеге асуы пайдаланушы интерфейсіннің қаншалықты жақсы құрастырылғанына байланысты.

Пайдаланушы интерфейсін анықтаудың бірнеше негізгі жолдары бар:

1. Тіл спецификациясы: Бұл жағдайда интерфейсіннің синтаксисін анықтау үшін арнайы тілдер қолданылады. Бұл тілдер декларативті, объектіге бағытталған, оқиғаға негізделген және т.б.

2. Графикалық спецификация: визуалды бағдарламалау, демонстрациялар және үлгілер арқылы интерфейсін анықтаумен айналысады. Бұл әдіс әдетте интерфейсіннің шектеулі жиынтығын қолдайды.

3. Объектіге бағытталған тәсілге негізделген спецификация: Объектілерді тікелей манипуляциялау принципін негізделген. Пайдаланушы өңдеушілер, мәзірлер, диалогтық терезелер және түймелер сияқты жеке нысандармен әрекеттеседі.

4. Қолданбалы тапсырманың семантикасына негізделген интерфейсін спецификациясы: Интерфейсін қолданбалы тапсырманың семантикасының спецификациясы негізінде автоматты түрде жасалады. Дегенмен, интерфейсін сипаттаудың күрделілігі дамуды бәсеңдетуі мүмкін.

Бүгінгі күні оларды жүзеге асырудың әртүрлі әдістерін қолдайтын интерфейсіндерді әзірлеуге арналған көптеген құралдар бар [10]. Олар бар үлгілер мен параметрленген құрамдастарды пайдалану арқылы жаңа интерфейсіндерді жасауды жеңілдетеді.

Графикалық пайдаланушы интерфейсіндерін жылдам және сапалы әзірлеуге арналған ең кең

тараған пакет Motif болып табылады. Солтүстік Американың OSF консорциумында әзірленген бұл пакет Xt Intrinsic идеяларының дамуы болып табылады.

Табиғи тілді өңдеудің әртүрлі тәсілдері бар. Алғашқы тәсілдердің бірі сөйлемге синтаксистік талдау жасауға негізделген. Бұл кезеңде сөйлем ішіндегі синтаксистік байланыстар анықталып, сөйлемнің түрі, құрылымы анықталады. Ол үшін талданатын тілге байланысты арнайы лексикалық және синтаксистік ережелер қолданылады.

Сөйлемді талдау процесі тізбектей және бірнеше кезеңмен жүзеге асырылады. Ол морфологиялық және морфемиялық талдау кезеңдерін қарастырады. Бұл кезеңде әрбір сөздің басқа сөйлем мүшелерімен байланысы алынады, бұл грамматикалық категориялардың мағыналарын анықтауға мүмкіндік береді.

Морфологиялық талдау синтаксистік талдаудың алдында тұрады және әрбір сөздің сөйлем мүшесі, септелуі, регистр және басқалары сияқты морфологиялық белгілерін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл белгілер сөйлемнің синтаксистік құрылымын анықтауда шешуші рөл атқарады [11].

Морфологиялық сипаттамалардың саны мен әртүрлілігі нақты тілге байланысты өзгеруі мүмкін, бұл талдау процесіне де әсер етеді.

Орыс тіліндегі табиғи тілді морфологиялық талдау үшін әртүрлі тәсілдер, соның ішінде ықтималдық көзқарас, «бұлдыр» және «қытырлақ» морфология қолданылады. Дегенмен, бұл процесте ең көп таралған тәсіл «айқын» морфологияны қолдануға негізделген.

«Айқын» тәсіл орыс сөздерінің негізгі флекстік формаларын және олардың сәйкес кодтарын қамтитын «Зализняк» сөздігі сияқты грамматикалық сөздікке сүйенеді. Бұл сөздік ережелерге негізделген сөздің барлық мүмкін формаларын көрсетуге мүмкіндік береді. Морфологиялық талдау талданатын сөздің морфологиялық белгілерін анықтау үшін осы сөз формалары мен олардың кодтарын пайдаланады.

Зализняктың грамматикалық сөздігіне негізделген сөздікті құру процесі әрқайсысы үшін сөз

формаларының жиынтығы жасалған барлық сөздерді санаудан басталады. Бұл сөз формалары кейіннен морфологиялық талдауда қолдану үшін сөздікке енгізіледі. Осылайша, бұл сөздік талданатын сөздің морфологиялық сипаттамасын береді [12].

Бұл табиғи тілді өңдеу әдісі сөздердің морфологиялық ерекшеліктерін дәл анықтауға мүмкіндік береді, бұл орыс тіліндегі мәтіндерді талдау кезінде маңызды қадам болып табылады.

Орыс тілінің морфемиялық талдауы әрбір сөзді префикс, жалғау, түбір, жұрнақ және түбір сияқты құрамдас бөліктерге бөлуге мүмкіндік береді. Бұл сөздің құрылымын және оның грамматикалық ерекшеліктерін түсінуге көмектесетін мәтінді өңдеудің маңызды кезеңі.

Дегенмен, орыс тіліндегі морфемалардың сөздігі, әдетте, сөзде қандай морфемалар бар екендігі туралы ақпарат береді, бірақ әрбір морфеманың түрін көрсетпейді. Мысалы, сөздің қай бөлігі префикс, қайсысы түбір екенін көрсетпейді. Бұл сөздің құрылымын морфемалық сөздіктегі мәліметтерге сүйене отырып, біржақты анықтауға болмайтынын білдіреді [13].

Бұл ретте орыс сөзіндегі морфемалар тізбегі әдетте қатаң түрде анықталады. Сөз префикстен, содан кейін түбірден басталып, жұрнақ пен жалғаумен аяқталады. Алайда бұл бөліктердің кейбірі сөзде жоқ болуы мүмкін.

Морфемалық сөздікте жоқ сөзді талдау үшін орыс тіліндегі морфемалардың стандартты тізбегін, сондай-ақ мағыналарының ауыспалылығымен шектелетін мүмкін префикстер, жұрнақтар және жалғаулардың тізімін пайдалануға болады. Бұл сөзді талдауға және морфемалық сөздіктегі анық мәліметтерсіз де оның құрылымын анықтауға мүмкіндік береді.

Сонымен, орыс тілінің морфематикалық талдауы құрылымды түсінудің маңызды құралы болып табылады.

Табиғи тілдегі пайдаланушы сұранысын өңдеу әдісінің шамамен диаграммасы:

1. Морфологиялық талдау:

- Сұрауды жеке сөздерге талдау.

- Әр сөздің сөйлем мүшесі, септелуі, регистр және басқалары сияқты морфологиялық белгілерін анықтау.

2. Талдау:

- Сөйлемдегі сөздер арасындағы синтаксистік байланыстарды анықтау.
- Сөйлемнің бас және басынқы мүшелерін анықтау.
- Ұсыныс түрін анықтау.

3. Семантикалық талдау:

- Сұраныстың мағынасын және оның мазмұнын талдау.

- Өтініште көрсетілген мақсаттар мен міндеттерді анықтау.

- Сұранысты оның мағыналық мағынасын ескере отырып түсіндіру.

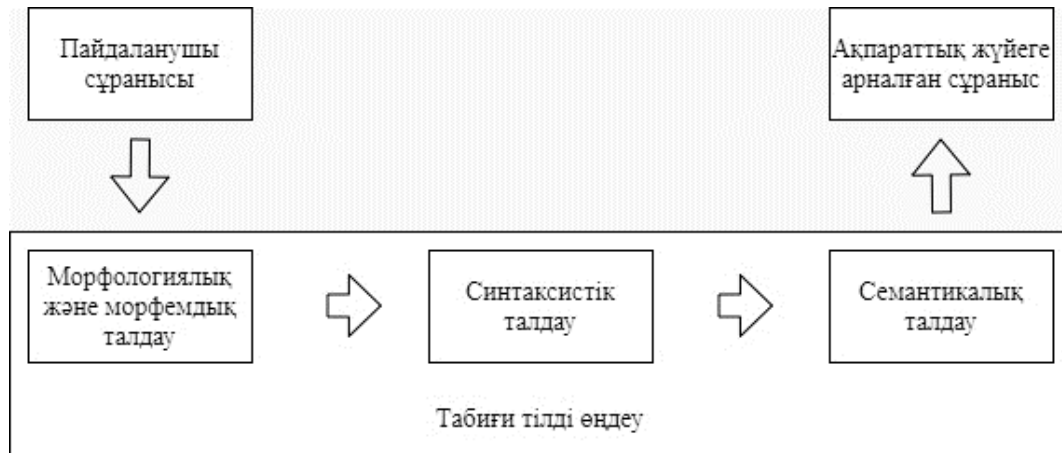
Семантикалық талдау кезеңі сөйлемнің құрылымын және оның жеке сөздерінің мағынасын түсінуге ғана емес, мәтін элементтері арасындағы мағыналық байланыстарды анықтай отырып, оның мақсат-міндеттер контекстіндегі сұранысты түсінуге мүмкіндік береді [14].

Талдаудың барлық үш кезеңін бірге пайдалану пайдаланушы сұрауын тереңірек және толық түсінуге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде ақпаратты дәлірек және тиімді өңдеуге және пайдаланушыға сәйкес жауап немесе нәтиже беруге көмектеседі.

Семантикаға негізделген табиғи тілдегі сұрауды өңдеу әдісі мәтінді талдаудың бірнеше кезеңдерін қамтиды. Бірінші кезең – морфологиялық талдау – сөзді префикс, түбір, жұрнақ және жалғау сияқты құрамдас бөліктеріне талдаудан тұрады. Одан кейін синтаксистік талдау жүргізіледі, мұнда сөздер мен сөйлем құрылымы арасындағы байланыстар анықталады. Дегенмен, тек талдау әдісінің кемшілігі - сұраудың мағынасын түсінбеу.

Бұл мәселені шешу үшін семантикалық талдау кіреді. Бұл кезеңде өтініштің мәні мен оның маңыздылығы түсініледі. Сонымен, табиғи тілдік сұранысты өңдеу әдісі келесі кезеңдерді қамтиды: морфологиялық, синтаксистік және семантикалық талдау.

Бұл әдістің диаграммасы осы кезеңдердің ретін көрсетеді, мұнда әрбір келесі кезең алдыңғысының нәтижелері бойынша құрылады. Бұл тәсіл пайдаланушы сұранысын тереңірек түсінуді және мәтінді дәлірек өңдеуді қамтамасыз етеді (1-сурет).



1 – сурет. Семантика негізінде табиғи тілдегі сұранысты өңдеу әдісінің схемасы

Семантикаға негізделген табиғи тілдің сұранысын өңдеу әдісінің схемасы - табиғи тілдегі қолданушылардың сұраныстарын олардың мағыналық мазмұнын ескере отырып түсінуге арналған кешенді тәсіл. Бұл әдіс сөйлемнің грамматикалық құрылымын ғана емес, оның семантикасын, яғни сөздердің мағыналары мен байланыстарын талдауға негізделген.

Сұранысты өңдеу процесінің басында лексикалық талдау жүргізіледі, оның барысында мәтін жеке лексемаларға немесе сөздерге бөлінеді. Содан кейін морфологиялық талдау жүргізіледі, оның нәтижесінде әрбір лексемаға өзіндік морфологиялық форма беріледі, бұл олардың сөйлеу бөлігін және грамматикалық сипаттамаларын анықтауға мүмкіндік береді.

Келесі кезекте синтаксистік талдау жүргізіледі, оның барысында сөйлемнің құрылымы мен оның сөздер арасындағы синтаксистік тәуелділіктері анықталады. Бұл сұраныстың негізгі құрамдас бөліктерін және олардың өзара байланысын түсінуге мүмкіндік береді. Бұл ретте сұраныс контекстіндегі сөздер мен сөз тіркестерінің мағынасы мен мағынасын анықтауға бағытталған семантикалық талдау орын алады [15].

Сұрау мағынасын және оның білім қорымен немесе контекстпен байланысын тереңірек түсі-

ну үшін машиналық оқыту әдістері мен әдістерін және жасанды интеллектті қолдануды қамтитын семантикалық өңдеу жүргізіледі. Бұл семантикалық модельдерді құруды, сөздердің векторлық бейнелерін және семантикалық графиктерді немесе онтологияларды пайдалануды қамтуы мүмкін.

Ақырында, талдау мен өңдеудің барлық кезеңдерінен кейін жауап жасалады немесе сұраныстың түсінілген мағынасына сәйкес тиісті әрекеттер орындалады. Бұл ақпарат үшін дерекқорды іздеуді, қолданбаларда немесе жүйелерде операцияларды орындауды немесе пайдаланушы сұрауына табиғи тілде жауап жасауды қамтуы мүмкін.

Іздеу сұранысын өңдеу логикасындағы негізгі диаграммалар мен диаграммалар тиімді ақпаратты іздеу жүйелерін жобалаудың негізгі құралдары болып табылады. Олар сұранысты өңдеу процесін визуализациялауға және іздеу жүйелерінің логикасын түсінуге көмектеседі. Негізгі схемалардың бірі сұранысты талдау, сәйкес деректерді іздеу және нәтижелерді пайдаланушыға ұсыну кезеңдерін қамтитын сұранысты өңдеу схемасы болып табылады [16]. Тағы бір маңызды схема - оңай қол жеткізу және іздеу үшін деректерді ұйымдастыру жолдарын анықтайтын индекстеу схемасы. Мәліметтер ағынының диаграммалары мен

күй диаграммалары сұранысты өңдеу процесін және жүйе құрамдастарының өзара әрекетін көрсету үшін де қолданылады. Бұл диаграммалар мен диаграммалар бірге іздеу жүйелерінің қалай жұмыс істейтіні туралы түсінік береді және әзірлеушілерге олардың өнімділігі мен функционал-

дығын оңтайландыруға көмектеседі (2-сурет).

Ақпаратты іздеу сұрауының реттілігі диаграммасы ақпаратты іздеу сұрауы кезінде орын алатын әрекеттер тізбегін көрсетеді. Әдетте пайдаланушының қолданба немесе веб-сайт интерфейсі арқылы сұрауды бастауымен басталады.

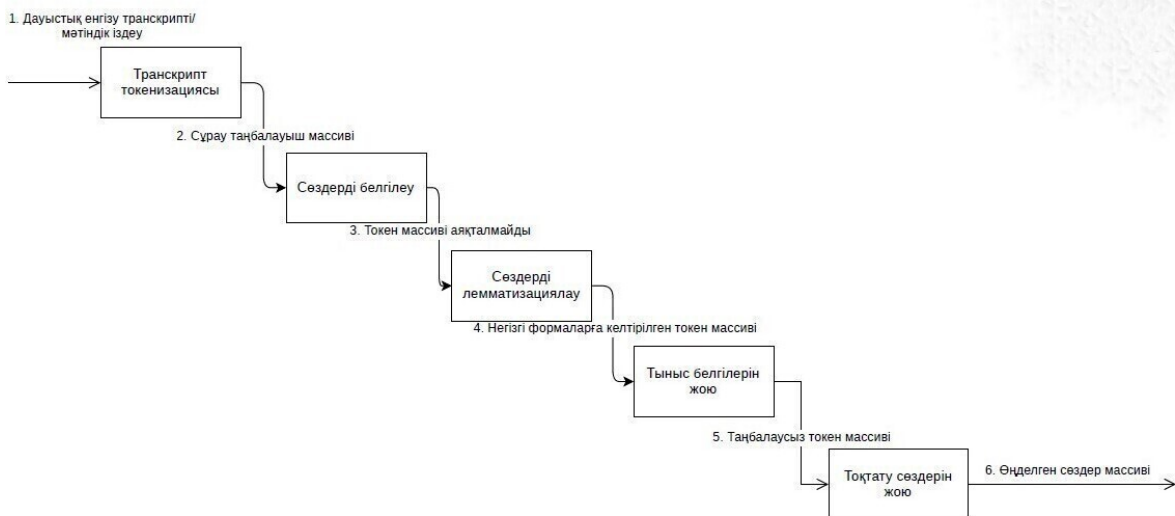


2 – сурет. Ақпаратты іздеу сұранысын өңдеуге арналған реттілік диаграммасы

Содан кейін жүйе бұл сұрауды алады және сұранысты сәйкес іздеу жүйесіне немесе дерекқорға жіберу арқылы іздеу процесін бастайды. Осыдан кейін іздеу жүйесі сұрауды талдайды, сәйкес деректерді тандайды және оны пайдаланушыға көрсету үшін жүйеге қайтарады. Содан кейін жүйе алынған нәтижелерді пайдаланушы ақпаратты көре және талдай алатын интерфейс арқылы пайдаланушыға көрсетеді. Соңында, пайдаланушы сұрауды нақтылау немесе қо-

сымша зерттеу үшін нақты нәтижені таңдау сияқты берілген нәтижелерге негізделген қосымша әрекеттерді жасай алады.

Қолданба интеграциясы - алынған ақпаратты қолданба ішінде шешім қабылдау немесе Пайдаланушымен өзара әрекеттесу үшін пайдалануға болады. Мысалы, жүйе пайдаланушының сұрағына жауап бере алады, мәтінді іздей алады немесе мәтіндік хабарламаның көңіл-күйін талдай алады (3-сурет).



3 – сурет. Табиғи тілді өңдеу схемасы

Табиғи тілді өңдеу коды:

```
doc = nlp(transcript)
lemmatized_stemmed_text = [stemmer.stem(token.lemma_.lower()) for token in
                             doc if token.is_alpha and not token.is_stop]
```

Ақпарат үшін дерекқорды іздеу және клиентке жауап беру туралы сөз болғанда, тиімді және дәл нәтиже алу үшін белгілі бір қадамдарды орындау маңызды. Ең алдымен, іздеу критерийлері мен сұраныстың негізгі параметрлерін анықтау қажет. Бұл нақты іздеу үшін қажетті кілт сөздерді, күндерді, деректер түрлерін немесе басқа сипаттарды қамтуы мүмкін.

Шарттар анықталғаннан кейін дерекқорды сәйкес құралдар немесе сұрау тілі арқылы іздеу керек. Дұрыс сұрау синтаксисін және іздеу үшін кестелер мен өрістерді дұрыс таңдауды ескеру маңызды. Сұрау орындалғаннан кейін дерекқор сәйкес нәтижелерді қайтарады, содан кейін оларды өңдеу керек. Алынған деректерді өңдеу клиенттің немесе соңғы пайдаланушының талаптарына сәйкес ақпаратты талдауды және сүзуді қамтиды. Бұл сұрыптауды, топтастыруды, есептеулерді және қажетті жауапқа жету үшін басқа деректерді өңдеуді қамтуы мүмкін. Деректерді өңдегеннен кейін жауап құрылады, ол құрылымдалған және клиент үшін түсінікті болуы керек.

Маңызды қадам клиентке оны бермес бұрын алынған жауаптың дұрыстығы мен толықтығын тексеру болып табылады. Бұл деректердің дұрыстығын және жауаптың көрсетілген критерийлер мен талаптарға сәйкестігін тексеруді қамтиды. Қажет болған жағдайда ақпаратты нақтылау үшін қосымша тексерулер мен талдаулар жүргізілуі мүмкін.

Тексеруден кейін жауап клиентке беруге дайын. Бұл мәтіндік хабарлама, есеп, кесте немесе клиентке қолдануға ыңғайлы басқа пішім түрінде болуы мүмкін. Ұсынылған жауаптың клиенттің үмітіне сай болуын және оның сұрауын толық қанағаттандыруын қамтамасыз ету маңызды.

Тиімді іздеуді және клиентке жауап беруді қамтамасыз ету үшін дерекқордың жаңартылып, жаңартылып тұруын қамтамасыз ету де маңызды. Бұл нақты іздеу нәтижелерін қамтамасыз ету үшін деректерді үнемі жаңартуды, жаңа жазбаларды қосуды және ескірген деректерді жоюды

қамтиды.

Сонымен қатар, деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету және деректер базасына қол жеткізу ережелерін сақтау қажет. Бұған пайдаланушылар үшін сәйкес кіру құқықтарын орнату және рұқсатсыз кіруді немесе деректерге өзгертулерді болдырмау үшін деректер әрекетін бақылау кіреді.

Жалпы алғанда, мәліметтер базасын тиімді іздеу және клиентке жауап беру үшін іздеу критерийлерін анықтау, сұранысты орындау, деректерді өңдеу, жауаптың дұрыстығын тексеру және оны клиентке ұсыну сияқты жүйелі тәсіл қажет. Осы қадамдарды орындау ақпараттың клиенттерге дәл және уақтылы берілуін қамтамасыз етуге көмектеседі (4-сурет).

1. Өңделген таңбалауыштардың массиві табиғи тілде өңдеуден кейін келеді. Массив толық мәтінді іздеу арқылы дерекқорды іздеуге жіберіледі.

```
search_results = collection.find( { '$text':
{'$search': ' '.join(lemmatized_stemmed_text)} },
{'score': {'$meta': 'textScore'}, 'workTopic': 1, "жұмыс атауы":1,})
```

2. Толық мәтінді іздеу нәтижелері курсор ретінде қайтарылады. Деректермен жұмыс істеудің ыңғайлы нұсқасы үшін түрлендіру әрбір нысан әрбір жазба туралы деректерді сақтайтын нысандар массивіне жасалады.

```
search_results_list = list(search_results.sort([('score',
 pymongo.DESENDING)]))
```

3. Іздеу нәтижелері дәл болу үшін табылған объектілерді сүзгілеу жүргізіледі. Ол үшін жұмыс атауы және жұмыс тақырыбы өрістерін өңдеу табиғи тілде орындалады.

```
for result in search_results_list: work_topic =
result.get('workTopic', "") # Получаем значение поля
workTopic work_name = result.get('workName',
"") # Получаем значение поля workName # Применяем стемминг, лемматизацию и приведение
к нижнему регистру lemmatized_stemmed_topic =
[stemmer.stem(token.lemma_.lower()) for token
in nlp(work_topic) if token.is_alpha and not
```

`token.is_stop]` `lemmatized_stemmed_name` = `in nlp(work_name)` if `token.is_alpha` and not `[stemmer.stem(token.lemma_lower())` for `token` `token.is_stop`

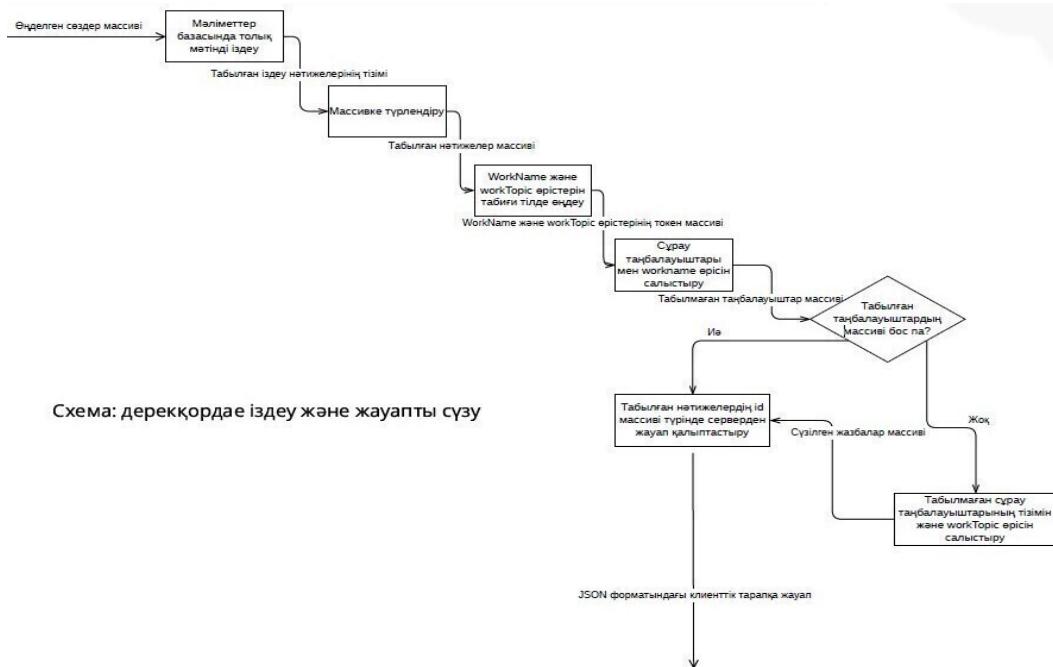


Схема: дерекқорда іздеу және жауапты сүзу

4 – сурет. Деректер қорынан ақпаратты іздеу және клиентке жауап беру схемасы

4. Өрістерді табиғи тілде өңдегеннен кейін пайдаланушы сұрауының таңбалауыштары мен жұмыс атауы өрісінің таңбалауыштары салыстырылады. Табылмаған таңбалауыштар бөлек массивке жазылады.

*if all(word in lemmatized_stemmed_name for word in lemmatized_stemmed_text): filtered_results.append(result) print("result", result) else: # Onpede-
ление ненайденных слов missing_words = [word
for word in lemmatized_stemmed_text if word not in
lemmatized_stemmed_name]*

5. Егер табылмаған таңбалауыштардың массиві бос болса, жауапты клиентке жіберу үшін табылған нәтижелерден жазба идентификаторларының жиымы жасалады.

6. Егер табылмаған таңбалауыштардың массиві бос болмаса, кеңейтілген тексеру үшін сұрау таңбалауыштары мен мақаланың аннотация өрістері салыстырылады. Егер аннотация өрісіндегі барлық белгілер массивте болса, онда идентификаторды массивке жазамыз және клиентке жауап JSON пішімі түрінде жасалады.

*if all(word in lemmatized_stemmed_topic for word in missing_words): filtered_results.append(result)
print("result", result)*

Нәтижелер мен талдау. Платформаларға белгілі бір мүмкіндіктерді немесе қызметтерді ұсынатын сандық құрал немесе онлайн қызмет. Әдетте платформалар белгілі бір тапсырмаларды орындау немесе пайдаланушылардың белгілі бір қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін жасалады. Олар әлеуметтік желілермен, электрондық коммерциямен, біліммен, ойын-сауықпен, жобаларды басқарумен және басқа да көптеген салалармен байланысты болуы мүмкін.

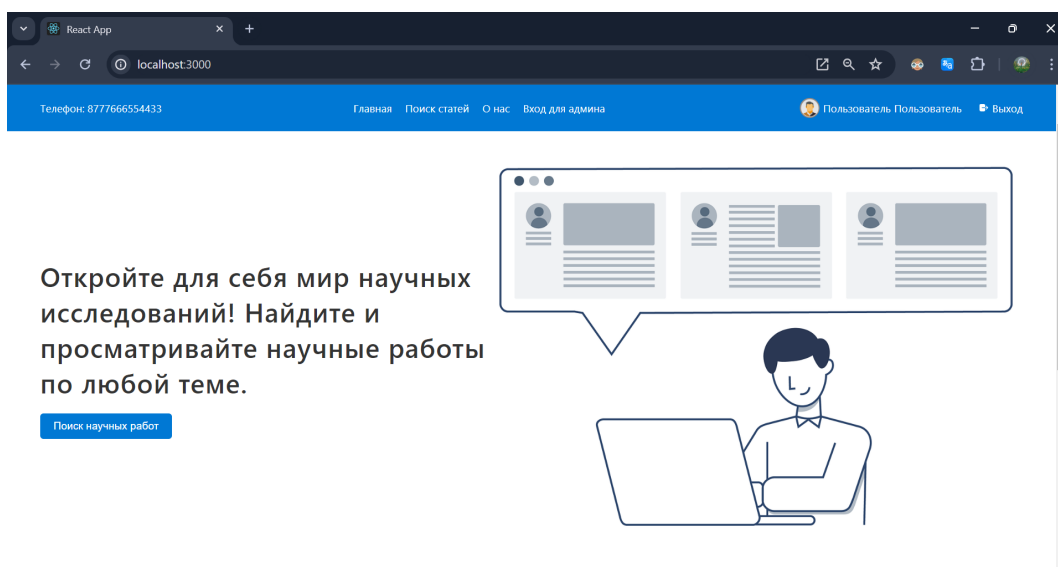
Пайдаланушыларды платформаны пайдалануға тарту үшін жасалған мазмұн оның сәттілігінде маңызды рөл атқарады. Бұл мазмұн әртүрлі болуы мүмкін және мақсатты аудиторияны қызықтыратын және қызықтыратын ақпараттық материалдарды, оқу ресурстарын, интерактивті элементтерді, және басқа форматтарды қамтуы мүмкін [17].

Пайдаланушыларды платформаға тартуға бағытталған мазмұнның негізгі міндеті-оның құндылығы мен артықшылықтарын көрсету және пайдаланушыларды әрекетке шақыру. Ол үшін мазмұн мақсатты аудиторияның мүдделері мен қажеттіліктерін ескере отырып, мазмұнды, тартымды және мақсатты болуы керек.

Мұндай мазмұнның мысалдары платформаның негізгі мүмкіндіктері мен артықшылықтарын көрсететін жарнамалық роликтер, пайдаланушы-лардың шолулары мен шолулары, хэштегтер мен шығармашылық мазмұнды қолданатын әлеуметтік медиа жазбалары және вики-ториналар, сауалнамалар немесе конкурстар сияқты интерактивті элементтер болуы мүмкін.

Пайдаланушыларды платформаны пайдалануға тарту үшін мазмұнды құрудың маңызды сәттері-бұл жарқын дизайн, платформаның негізгі мүмкіндіктерін түсінікті және тартымды сипаттау, сонымен қатар оны бәсекелестер арасында ең жақсы таңдау жасайтын ерекше артықшылықтарға баса назар аудару (5 –сурет) .

Мазмұнды олардың үміттері мен қажеттіліктеріне бейімдеу үшін пайдаланушылардың пікірлері мен пікірлерін ескеру маңызды. Мазмұнды үнемі жаңартып отыру және әртүрлі форматтағы эксперименттер платформаға деген қызығушылықты сақтауға және жаңа пайдаланушыларды тартуға көмектеседі.



5 – сурет. Табиғи тілді қолдана отырып әзірленген интерфейснің басты беті

Қорытынды. Пайдаланушы интерфейстеріндегі табиғи тіл концепциясын, сондай-ақ оны жобалаудың негізгі принциптері мен әдістерін зерттеу қазіргі заманғы технологиялардың дамуындағы маңызды кезеңді білдіреді. Табиғи тілде пайдаланушы интерфейстерін құру саласындағы қолданыстағы әдістер мен технологияларға шолу осы саланың қазіргі жағдайы мен даму бағыттарын бағалауға мүмкіндік береді. Мәтінді өңдеу тәсілдерін, машиналық оқытуды пайдалануды және жасанды интеллект интеграциясын қоса алғанда, табиғи тілдегі пайдаланушы интер-

фейстерін құру әдістері пайдаланушы тәжірибесін және адам мен компьютер арасындағы тиімді қарым-қатынасты жақсарту үшін кең мүмкіндіктер береді. Мұндай интерфейстерді құрудың практикалық аспектілеріне сөйлеуді тану технологияларын пайдалану және оларды әртүрлі қолданбалар мен жүйелерге біріктіру кіреді, бұл пайдаланушылар үшін ақпараттың ыңғайлылығы мен қолжетімділігін жақсартуға көмектеседі. Осылайша, табиғи тілдегі пайдаланушы интерфейстерін одан әрі дамыту және зерттеу адамның технологиямен өзара әрекеттесуін айтарлы-

ктай жақсартуға және пайдаланушылардың кең ді интерфейстерді құруға мүмкіндік береді. ауқымы үшін анағұрлым интуитивті және тиім-

Әдебиеттер

1. Елисеева О.Е. Естественно-языковой интерфейс интеллектуальных систем: учебное пособие. -Минск: БГУИР, 2009.- 151 с. ISBN 978-985-488-323-6
2. Ермаков А. Е., Киселев С. Л., Плешко В. В. Поиск фактов в тексте естественного языка на основе сетевых описаний // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: труды Международной конференции Диалог. – 2004. – С. 282-285.
3. Жигалов В.А. Технология построения естественно-языковых интерфейсов к структурированным источникам данных: Автореф. дис. ... кан. тех. наук // Москва, 2000 – 173 с.
4. Житко В.А. Пользовательский интерфейс интеллектуальных вопросно-ответных системах // Кибернетика и программирование. - 2012. - № 1. - С.23-30. DOI: 10.7256/2306-4196.2012.1.13862
5. Житко В. А. и др. Семантическая технология компонентного проектирования естественно-языкового интерфейса интеллектуальных вопросно-ответных систем. // Труды Международной научно-технической конференции Open Semantic Technology for Intelligent Sysktems (OSTIS) 2011 - 2011.- С. 395-408.
6. Крайванова В. А. Модель естественно-языкового интерфейса для систем управления сложными техническими объектами и оценка эффективности алгоритмов на ее основе // Управление большими системами: сборник трудов. – 2009. – №. 26 – С. 158-177.
7. Кузнецов Б. А. и др. Обработка запросов на естественном языке новое качество поиска в БД ВИН ИТИ // НТИ. Серия 2. – 2001. – №. 11. – С. 31.
8. Кузнецова А.И., Ефремова Т.Ф. Словарь морфем русского языка. – М. Русский язык, 1986.-1136 с.
9. Николаева И.С., Митренина О.В., Ландо Т.М. Прикладная и компьютерная лингвистика // М.: URSS. – 2016 – 315 с. ISBN 978-5-9710-3472-8
10. Осипов Г. С. и др. Проблемы обеспечения точности и полноты поиска: Пути решения в интеллектуальной метапоисковой системе "Сириус" // Труды международной конференции Диалог. – 2005. – С. 390-395.
11. Посевкин Р.В. Применение семантической модели базы данных при реализации естественно-языкового пользовательского интерфейса // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики.- 2018.-Т. 18(2).-С. 262–267. D 10.17586/2226-1494-2018-18-2-262-267
12. Посевкин Р.В. Метод автоматизированного формирования семантической модели базы данных диалоговой системы // Программные продукты и системы.- 2018. -№ 2. -С. 291–294. DOI 10.15827/0236-235X.122.291-294
13. Посевкин Р.В. Обработка естественного языка в процессе разработки пользовательского интерфейса // Сборник научных трудов III Международной научной конференции «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине». -2016.- С. 471- 472. ISBN 978-5-4387-0672-4
14. Посевкин Р.В., Бессмертный И.А. Естественно-языковой пользовательский интерфейс диалоговой системы // Программные продукты и системы. - 2016.- № 3- С.5–9. DOI 10.15827/0236-235X.115.005-009
15. Правиков А. А. Разработка и применение метода формализации проектирования рекомендательных систем с естественно-языковым интерфейсом: дис...канд. технических наук. -Москва, 2011. - 160

с.

16. Правиков А.А., Фомичев В.А. Разработка рекомендательной системы с естественно-языковым интерфейсом на основе математических моделей семантических объектов // Бизнес-информатика. - 2010. - № 4. - С. 3-8.
17. Селезнев К. Обработка текстов на естественном языке // Открытые системы. – 2003. – Т. 12. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.osp.ru/os/2003/12/183694/>

References

1. Eliseeva O.E. Estestvenno-yazykovoï interfeis intellektual'nykh sistem: uchebnoe posobie. – Minsk: BGUIR, 2009. – 151 s. ISBN 978-985-488-323-6[in Russian]
2. Ermakov A. E., Kiselev S. L., Pleshko V. V. Poisk faktov v tekste estestvennogo yazyka na osnove setevykh opisaniï // Komp'yuternaya lingvistika i intellektual'nye tekhnologii: trudy Mezhdunarodnoi konferentsii Dialog. – 2004. – S. 282-285. [in Russian]
3. Zhigalov V.A. Tekhnologiya postroeniya estestvenno-yazykovykh interfeisov k strukturirovannym istochnikam dannykh: Avtoref. dis. ... kan. tekh. nauk // Moskva, 2000 -173 s. [in Russian]
4. Zhitko V.A. Pol'zovatel'skii interfeis intellektual'nykh voprosno-otvetnykh sistemakh // Kibernetika i programmirovaniye. - 2012. - № 1. - S.23-30. DOI: 10.7256/2306-4196.2012.1.13862 [in Russian]
5. Zhitko V. A. i dr. Semanticheskaya tekhnologiya komponentnogo proektirovaniya estestvenno-yazykovogo interfeisa intellektual'nykh voprosno-otvetnykh sistem. // Trudy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii Open Semantic Technology for Intelligent Sysktems (OSTIS) 2011 – 2011. — S. 395-408. [in Russian]
6. Kraivanova V. A. Model' estestvenno-yazykovogo interfeisa dlya sistem upravleniya slozhnymi tekhnicheskimi ob"ektami i otsenka effektivnosti algoritmov na ee osnove // Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov. – 2009. – №. 26 – S. 158-177. [in Russian]
7. Kuznetsov B. A. i dr. Obrabotka zaprosov na estestvennom yazyke novoe kachestvo poiska v BD VINITI // NTI. Seriya 2. – 2001. – №. 11. – S. 31. [in Russian]
8. Kuznetsova A.I., Efremova T.F. Slovar' morfem russkogo yazyka. – M. Russkii yazyk, 1986. – 1136 s. [in Russian]
9. Nikolaeva I.S., Mitrenina O.V., Lando T.M. Prikladnaya i komp'yuternaya lingvistika // M.: URSS. – 2016 – 315 c. ISBN 978-5-9710-3472-8 [in Russian]
10. Osipov G. S. i dr. Problemy obespecheniya tochnosti i polnoty poiska: Puti resheniya v intellektual'noi metapoiskovoi sisteme "Sirius" // Trudy mezhdunarodnoi konferentsii Dialog. – 2005. – S. 390-395. [in Russian]
11. Posevkin R.V. Primeneniye semanticheskoi modeli bazy dannykh pri realizatsii estestvenno-yazykovogo pol'zovatel'skogo interfeisa // Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki.- 2018.-T. 18(2) - S. 262-267. DOI 10.17586/2226-1494-2018-18-2-262-267 [in Russian]
12. Posevkin R.V. Metod avtomatizirovannogo formirovaniya semanticheskoi modeli bazy dannykh dialogovoi sistemy //Programmnye produkty i sistemy.-2018.- № 2.- S.291- 294. DOI 10.15827/0236-235X.122.291-294 [in Russian]
13. Posevkin R.V. Obrabotka estestvennogo yazyka v protsesse razrabotki pol'zovatel'skogo interfeisa // Sbornik nauchnykh trudov III Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Informatsionnye tekhnologii v nauke, upravlenii, sotsial'noi sfere i meditsine».- 2016.- S. 471-472. ISBN 978-5-4387-0672-4 [in Russian]

-
14. Posevkin R.V., Bessmertnyi I.A. Estestvenno-yazykovoi pol'zovatel'skii interfeis dialogovoi sistemy // Programmnye produkty i sistemy.-2016.-№ 3-S. 5- 9. DOI 10.15827/0236-235X.115.005-009 [in Russian]
 15. Pravikov A. A. Razrabotka i primenenie metoda formalizatsii proektirovaniya rekomendatel'nykh sistem s estestvenno-yazykovym interfeisom: dis...kand. tekhnicheskikh nauk. -Moskva, 2011. - 160 s. [in Russian]
 16. Pravikov A.A., Fomichev V.A. Razrabotka rekomendatel'noi sistemy s estestvenno-yazykovym interfeisom na osnove matematicheskikh modelei semanticheskikh ob"ektov // Biznes-informatika. - 2010. - № 4. S. 3 - 8. [in Russian]
 17. Seleznev K. Obrabotka tekstov na estestvennom yazyke //Otkrytye sistemy. – 2003. – Т. 12. [Elektronnyi resurs]. – URL: <https://www.osp.ru/os/2003/12/183694/> [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет

Танирбергенов А. Ж. – Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің алгебра және геометрия кафедрасының доцент м.а., Астана, Қазақстан. E-mail: t.adilbek@mail.ru;

Серикбаева С. К. – Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Ақпараттық жүйелер кафедрасының аға оқытушысы, PhD, Астана, Қазақстан. E-mail: inf_8585@mail.ru;

Бөбеева Б. У. - магистр, Орталық Азия Инновациялық Университеті, «Техника және ақпараттық технологиялар кафедрасы», Шымкент, Қазақстан. E-mail: Coquette0@mail.ru;

Ахметжанова Ш. Е. - М.Х.Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының доцент, т.ғ.к., Тараз, Қазақстан. E-mail: she.akhmetzhanova@dulaty.kz;

Абдувалова А. Д.- М.Х.Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының доцент м.а., т.ғ.к., Тараз, Қазақстан. E-mail: abduvalova_ad@mail.ru.

Information about the authors

Tanirbergenov A. - associate professor of the Department of algebra and geometry, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. E-mail: t.adilbek@mail.ru;

Serikbayeva S. - PhD, Senior Lecturer of the Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. E-mail: inf_8585@mail.ru;

Bobeeva B. - master's degree, Central Asian Innovation University, Department of Technology and information technologies, Shymkent, Kazakhstan. E-mail: Coquette0@mail.ru;

Akhmetzhanova Sh. - acting associate professor of the Department «Information Systems», Taraz regional university named after M. KH. Dulaty, Taraz, Kazakhstan. E-mail: she.akhmetzhanova@dulaty.kz;

Abduvalova A. - acting associate professor of the Department «Information Systems», Taraz regional university named after M. KH. Dulaty, Taraz, Kazakhstan. E-mail: abduvalova_ad@mail.ru

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**¹А.Т. Мазакова, ¹Ш.А. Джомартова, ^{1,2}Т.Ж. Мазаков✉, ³Г.Ч. Тойкенов, ²М.С. Алиаскар**¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,²Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан,³Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

✉Корреспондент-автор: tmazakov@mail.ru

Цель данной работы заключается в создании алгоритмов и программного обеспечения для автоматизированной проверки условий устойчивости динамики беспилотного летательного аппарата, чья математическая модель представлена системой обыкновенных дифференциальных уравнений. С помощью системы аналитических вычислений было разработано приложение, которое позволяет автоматически линеаризовать систему нелинейных уравнений и строить характеристический полином линейной системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Предложенные методы и модели имеют высокую практическую ценность для анализа устойчивости различных экономических и технических систем.

Ключевые слова: БПЛА, динамика, математическая модель, управляемость, устойчивость.**ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛІК ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ****¹А.Т. Мазақова, ¹Ш.А. Джомартова, ^{1,2}Т.Ж. Мазаков✉, ³Г.Ч. Тойкенов, ²М.С. Әлиаскар**¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,²Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,³Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

e-mail: tmazakov@mail.ru

Бұл жұмыстың мақсаты математикалық моделі қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесімен ұсынылған ұшқышсыз ұшу аппараты динамикасының тұрақтылық шарттарын автоматтандырылған тексеру үшін алгоритмдер мен бағдарламалық қамтамасыз етуді құру болып табылады. Аналитикалық есептеу жүйесінің көмегімен сызықтық емес теңдеулер жүйесін автоматты түрде сызықтандыруға және қарапайым дифференциалдық теңдеулердің сызықтық жүйесінің сипаттамалық көпмүшесін құруға мүмкіндік беретін қосымша жасалды. Ұсынылған әдістер мен модельдер әртүрлі экономикалық және техникалық жүйелердің тұрақтылығын талдау үшін жоғары практикалық мәнге ие.

Түйінді сөздер: ҰҰА, динамика, математикалық модель, басқарылғыштық, тұрақтылық.**PARAMETRIC STABILITY OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE****¹A.T. Mazakova, ¹S.A. Dzhomartova, ^{1,2}T.J. Mazakov✉, ³G.Ch.Toikenov, ²M.S. Aliaskar**¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,²International engineering and Technology University, Almaty, Kazakhstan,

The aim of this research is to design algorithms and develop software for the automated assessment of stability criteria in the dynamic behavior of unmanned aerial vehicles (UAVs), modeled through systems of ordinary differential equations (ODEs). By employing advanced symbolic computation techniques, an application has been created that facilitates the automatic linearization of nonlinear equation systems and the derivation of the characteristic polynomial for the resulting linearized ODE systems. The introduced methodologies and models provide substantial practical significance in the evaluation of stability across a broad range of both economic and technical systems.

Keywords: UAV, dynamics, mathematical model, controllability, stability.

Введение. Беспилотная авиация стремительно развивается по всему миру, что обусловлено спросом на лёгкие и относительно недорогие летательные аппараты, обладающие высокой манёвренностью и способные решать широкий спектр задач. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно используются в военных операциях на глобальном уровне, а также успешно выполняют гражданские задачи, включая линейризацию [1-5].

Исследование различных авиационных систем часто сводится к созданию математических моделей, описываемых нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями. Для нелинейных систем до сих пор не разработаны универсальные методы. Изучение подобных моделей требует обязательного учета характера нелинейностей.

В общем виде нелинейная модель может быть представлена как система обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dq}{dt} = f(q, Pr, t) + B(t)u \quad (1)$$

Где:

Pr – вектор параметров размерности l ;

$q(t)$ – вектор переменных модели размерности n ;

$u(t)$ – входы модели, задающие способы управления;

время $t \in [0, T]$. T – задано.

Предполагается, что вектор-функция $f(q, \theta, t)$ определена и непрерывна вместе со своими частными производными по q .

К системе уравнений (1) добавляются начальные условия:

$$q(0) = q_0 \quad (2)$$

На управление даются ограничения

$$(u(t) \in U = \{u(t) : u_i(t) \in C[[0, T]; -L_i \leq u_i(t) \leq L_i, i = \overline{1, m}, t \in [0, T]\}). \quad (3)$$

Материалы и методы. Нелинейной модели (1) соответствует линейризованная система дифференциальных уравнений:

$$\dot{q} = A(Pr, t)q + B(t)u, \quad (4)$$

$$q(0) = q_0, \quad (5)$$

где $A(Pr, t)$ - $n \times n$ – матрица элементы которой зависят от вектора параметров и времени $t \in [0, T]$. Матрица $A(Pr, t)$ определяется из (1) следующим образом:

$$A(\text{Pr}, t) = \frac{\partial f(q^s, \text{Pr}, t)}{\partial q} \quad (6)$$

В (6) вектор-функция $q^s(t)$ (размерности n) $t \in [0, T]$, предполагается заданной исходя из требований к поставленной задаче.

Для задачи управляемости $q^s(t)$ может быть задана следующим образом:

$$q^s(t) = \text{const} = q_T \quad t \in [0, T] \quad (7)$$

где q_T представляет собой желаемое конечное состояние системы (1).

Задача управляемости заключается в следующем: существует ли такое управление $u(t)$, которое удовлетворяет условию (3) и переводит систему (4) из начального состояния (5) в заданное конечное состояние (7) за определённое время T .

Так как λ_k - корни алгебраического характеристического уравнения, выведенного из уравнения $\det(A - \lambda_k E) = 0$ (E - единичная матрица), определяют устойчивость системы, задача устойчивости сводится к алгебраической проблеме: при каких условиях корни этого уравнения бу-

дут иметь отрицательные вещественные части и только такие корни. А. Гурвиц в 1885 году нашёл решение этой задачи, предложив косвенный критерий устойчивости малых колебаний.

Современная теория устойчивости базируется на определении, введённом Ляпуновым, которое является наиболее общим и определило не только объём и содержание вопросов, рассматриваемых в современной теории устойчивости, но и развитие качественных методов исследования дифференциальных уравнений для решения этих задач.

Определение устойчивости по Ляпунову формулируется следующим образом.

Определение (устойчивости по Ляпунову). Для системы $\frac{dy}{dt} = Y(y, t)$ движение $y = f(t)$ называется устойчивым, если для любого $\varepsilon > 0$ существует $\delta > 0$ такое, что из неравенства $\|y(t_0) - f(t_0)\| < \delta$ следует неравенство $\|y(t) - f(t)\| < \varepsilon$ при $t \geq t_0$.

Рассмотрим следующую математическую модель динамики БПЛА

$$\begin{aligned} \dot{V} &= g(n_{xa} - \sin\Theta) \\ \dot{\Theta} &= g(n_{ya} \cos\gamma - \cos\Theta)/V \\ \dot{\Psi} &= -gn_{ya} \sin\gamma / (V \cos\Theta) \\ \dot{x} &= V \cos\Theta \cos\Psi \\ \dot{y} &= V \sin\Theta \\ \dot{z} &= -V \cos\Theta \sin\Psi \end{aligned} \quad (8)$$

$$n_{xa} = \frac{P \cos\alpha - X_a}{mg}, \quad n_{ya} = \frac{P \sin\alpha + Y_a}{mg} \quad (9)$$

Здесь:

x, y, z – координаты центра масс самолета в нормальной земной системе координат;

V – скорость полета;

Θ – угол наклона траектории, Ψ – угол курса, α – угол атаки, γ – угол крена;

P – тяга двигателя;

X_a – аэродинамическое сопротивление;

Y_a – аэродинамическая подъемная сила;

m – масса самолета;

g – ускорение свободного падения;

n_{xa} – продольная перегрузка;

n_{ya} – поперечная перегрузка (в поточных осях координат) [6-7].

В качестве управляющих переменных в (8) принимается перегрузки n_{xa}, n_{ya} и угол крена γ .

Введем обозначения:

$$q = \begin{bmatrix} V \\ \Theta \\ \Psi \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \quad q_0 = \begin{bmatrix} V_0 \\ \Theta_0 \\ \Psi_0 \\ x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}, \quad q_1 = \begin{bmatrix} V_1 \\ \Theta_1 \\ \Psi_1 \\ x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Далее исследуется проблема устойчивости линеаризованной модели вида:

$$\frac{dq}{dt} = A(\text{Pr})q \quad (11)$$

где коэффициенты матрицы $A(\text{Pr})$ зависят от параметров Pr , характеризующих механические параметры (такие как вес, метрические характеристики, инерционность и т.п.).

Определение. Систему (11) с матрицей A , элементы которой зависят от параметров Pr , назовем параметрически асимптотически устойчивой по Ляпунову, если для некоторого Pr существует решение $q(\text{Pr}, t)$, $t \in [0, \infty)$, такое что справедливо утверждение:

- 1) для любых $\varepsilon > 0$ и $t_0 \in [0, \infty)$ существует $\delta = \delta(\varepsilon, t_0)$ такое, что для всех решений $q = q(\text{Pr}, t)$, удовлетворяющих условию $\|q(t_0)\| < \delta$, справедливо неравенство $\|q(\text{Pr}, t)\| < \varepsilon$, при $t \in [t_0, \infty)$;
- 2) для любого $t_0 \in [0, \infty)$ существует $\lambda = \lambda(t_0)$ такое, что все решения $q = q(\text{Pr}, t)$, удовлетворяющие условию $\|q(t_0)\| < \lambda$, обладают свойством:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|q(\text{Pr}, t)\| = 0$$

Как известно, для определения устойчивости системы (11) анализируются свойства собственных значений матрицы. Аналогично, для определения параметрической устойчивости матрицы строится характеристический полином с коэффициентами, зависящими от параметров Pr :

$$\phi_A(\lambda) = \det(\lambda E - A(\text{Pr})) = p_n \lambda^n + p_{n-1} \lambda^{n-1} + \dots + p_0 \quad (12)$$

где $p_i, i = \overline{0, n}$ — зависят от параметров Pr .

Необходимое условие устойчивости: все коэффициенты характеристического полинома (12) для фиксированного значения Pr должны находиться в положительной.

Составим матрицу Гурвица

$$M = \begin{bmatrix} p_1 & p_0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ p_3 & p_2 & p_1 & p_0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{2n-1} & p_{2n-2} & p_{2n-3} & p_{2n-4} & \dots & p_n \end{bmatrix}$$

где принято $p_j = 0$ при $j < 0$ и $j > n$.

Обозначим через $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ главные диагональные миноры матрицы M :

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= p_1, \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} p_1 & p_0 \\ p_3 & p_2 \end{vmatrix}, \\ \Delta_n &= |M| = p_n \Delta_{n-1}\end{aligned}$$

которые в свою очередь являются функциями от параметров Pr .

Критерий параметрической устойчивости Гурвица: для того чтобы некоторого значения параметра Pr собственные значения матрицы $A(Pr)$ были $Re\lambda_j(A(Pr)) < 0, j = \overline{1, n}$ необходимо и достаточно, чтобы главные диагональные миноры $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ матрицы M находились в правой полуплоскости, т.е. $\Delta_j > 0, j = \overline{1, n}$.

Для автоматизированного построения характеристического полинома, зависящего от параметров Pr , на языке MatLab был реализован алгоритм Леверье-Фадеева, использующий методы компьютерной алгебры. На основе полученного характеристического полинома формируется матрица Гурвица, также зависящая от параметров Pr . Далее для этой параметрической матрицы Гурвица вычисляются главные миноры и их определители.

Используя программу, разработанную на MatLab и представленную ниже, можно получить следующие результаты линеаризации системы (8).

```
syms q1 q2 q3 q4 q5 q6 q A B
q0 = [2.2 1.5 1.4 1.3 1.1 1.0];
q = [q1 q2 q3 q4 q5 q6];
t = [0 10];
y0 = q0;
g = 9.8;
P = 2000;
m = 3;
alfa = 30;
gamma = 45;
Xa = 0.32;
Ya = 0.4;
nxa = (P*cos(alfa) - Xa) / (m*g);
nya = (P*sin(alfa) + Ya) / (m*g);
F = [g*(nxa-sin(q2)); g*(nya*cos(gamma)-cos(q2))/q1; -g*nya*sin(gamma)/(q1*
    cos(q2)); q1*cos(q2)*cos(q3); q1*sin(q2); -q1*cos(q2)*sin(q3)];
for i = 1:length(q0)
    for j = 1:length(q0)
        A(i,j) = diff(F(i),q(j));
    end
end
end
B = subs(A,q,q0);
disp(vpa(A,3));
disp(vpa(B,3));
```

Представим результат выполнения программы в следующем виде:

$$A(q) = \frac{\partial f(q, t)}{\partial q} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{26} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{61} & a_{62} & \dots & a_{66} \end{pmatrix} \quad (13)$$

Выпишем только ненулевые элементы матрицы $A(q)$:

$$a_{12} = -9.80 * \cos(q2), a_{21} = -1. * (-346. - 9.80 * \cos(q2))/q1^2,$$

$$a_{22} = 9.80 * \sin(q2)/q1, a_{31} = -560./q1^2/\cos(q2),$$

$$a_{32} = 60./q1/\cos(q2)^2 * \sin(q2), a_{41} = \cos(q2) * \cos(q3),$$

$$a_{42} = -x1 * \sin(x2) * \cos(x3), a_{43} = -q1 * \cos(q2) * \sin(q3),$$

$$a_{51} = \sin(q2), a_{52} = q1 * \cos(q2), a_{61} = -\cos(q2) * \sin(q3),$$

$$a_{62} = q1 * \sin(q2) * \sin(q3), a_{63} = -q1 * \cos(q2) * \cos(q3)$$

Вычислим значение матрицы $A(q)$ в точке $q_0 = [2.2 \ 1.5 \ 1.4 \ 1.3 \ 1.1 \ 1.0]$

$$A(q_0) = \begin{pmatrix} 0 & -0.707 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.014 & 0.453 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0 & 0.0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.012 & -0.37 & 0.153 & 0 & 0 & 0 \\ -0.959 & 0.156 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.069 & 2.162 & 0.026 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (14)$$

В результате работы программы был получен аналитический вид матрицы A и её значение при $q_0 = [2.2 \ 1.5 \ 1.4 \ 1.3 \ 1.1 \ 1.0]$.

В дальнейшем эта матрица A , представленная в виде (3.10), была использована для анализа устойчивости и управляемости модели БПЛА в заданной точке.

Результаты и обсуждение. Процесс линеаризации модели (6) для исходной нелинейной системы (1) оказывается весьма трудоёмким, особенно при увеличении размерности n , и становится практически неосуществимым при $n > 3$. Более того, при проведении линеаризации часто проявляется «человеческий фактор», что снижает точность вычислений и не гарантирует корректности результатов. Это подчеркивает актуальность задачи автоматизации процесса линеаризации нелинейных моделей [8].

Для решения этой проблемы предлагается использовать системы компьютерной алгебры (СКА), такие как MatLab [9-10]. Эти системы предоставляют широкий спектр возможностей для работы с алгебраическими выражениями: от базовых операций, таких как вычисление и дифференцирование, до более сложных процедур, включая разложения в ряды и интегрирование.

СКА находят широкое применение в таких областях, как аэрокосмическая промышленность.

Критерии параметрической устойчивости, изложенные выше, также были реализованы в приложении, разработанном авторами [11].

Результаты численных расчётов полностью согласуются с экспериментальными данными. Кроме того, результаты сохраняются в текстовые файлы, что позволяет визуализировать одномерные графики динамики БПЛА с помощью MatLab, для которого была написана специальная программа.

В качестве перспективного направления можно рассматривать использование интервальной математики для анализа условий устойчивости БПЛА [12-14].

Выводы. Статья посвящена исследованию управления и устойчивости беспилотных лета-

тельных аппаратов (БПЛА) с использованием математических моделей. Основное внимание уделяется линеаризации нелинейных систем дифференциальных уравнений, описывающих динамику БПЛА, и анализу устойчивости с применением критерия Гурвица.

Выводы по статье можно сформулировать следующим образом:

- *Значимость беспилотной авиации.* Беспилотные летательные аппараты играют важную роль как в военной, так и в гражданской сферах, что обуславливает необходимость развития математических моделей для их эффективного управления.
- *Нелинейные модели.* Для моделирования динамики БПЛА часто используются системы нелинейных дифференциальных уравнений. Линеаризация таких моделей является сложной задачей, особенно для систем высокой размерности.
- *Автоматизация процесса линеаризации.* Для повышения точности и эффективности расчетов предлагается автоматизация процесса линеаризации с использованием систем компьютерной алгебры, таких как MatLab.

- *Анализ устойчивости.* Устойчивость БПЛА исследуется с использованием матрицы Гурвица и критерия параметрической устойчивости. Применение метода позволяет выявить условия, при которых система будет асимптотически устойчива.

- *Практическая значимость.* Разработанная программа на MatLab позволяет автоматизировать процесс построения характеристических полиномов и анализа устойчивости, что подтверждено экспериментальными результатами.

- *Перспективы.* Одним из направлений дальнейших исследований может стать использование интервальной математики для более точного анализа устойчивости БПЛА в условиях неопределённости.

Таким образом, статья подчеркивает важность применения современных методов математического моделирования и автоматизации для анализа устойчивости и управляемости БПЛА.

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. Логинов А.А. Актуальность использования беспилотных летательных аппаратов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики.- 2015.-Т. 1.- С. 704-705
2. Хуснутдинов Т.Д., Щербакова А.В., Комарова А.П., Рублевская Е.В., Решетников А.Ю. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в инновационных проектах// Актуальные проблемы авиации и космонавтики.- 2017.- Т. 3.- С. 139-141
3. Лю Ш., Ли., Тан Ц., Ву Ш., Годье Ж.-Л. Разработка беспилотных транспортных средств.- М.:ДМК Пресс.- 2022.-246 с. ISBN 978-5-97060-969-9
- 4.Августов Л.И и др. Навигация летательных аппаратов в околоземном пространстве. – М.: ООО «Научтехлитиздат», 2015. -592с. ISBN 978-5-93728-146-3.
- 5.Бернс В.А., Долгополов А.В. и др. Экспериментальный модальный анализ летательных аппаратов. – Новосибирск: НГТУ, 2023. – 328 с. ISBN 978-5-7782-3209-9
- 6.Танг Тхань Лам Системный анализ и оптимизация режимов полета для управления летательным аппаратом // Автореф. диссер. канд. техн. наук, спец. 05.13.01, Москва, 2015. – 155 с.
7. Mazakova A., Jomartova Sh., Vfzakov T., Shormanov., Amirkhanov B. Controllability of an unmanned aerial vehicle.// 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON) - C.1-5. DOI 10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830244

-
8. Mazakova A., Jomartova Sh., Wójcik W., Mazakov T., Ziyatbekova G. Automated Linearization of a System of Nonlinear Ordinary Differential Equations// Intl. Journal of electronics and Telecommunications.- 2023.- Vol.69(4).- P.655-660. DOI:10.24425/ijet.2023.147684
 9. Смоленцев Н.К. MatLab. Программирование на Visual C#, Borland JBuilder, VBA. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 464с.
 10. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. - 608 с. ISBN 5-318-00667-1.
 11. А.с. №45318 от 2.05.2024 г. Мазакова Э.Т., Мазаков Т.Ж., Джомартова Ш.А. Определение устойчивости БПЛА. Программа для ЭВМ.
 12. Issimov N., Mazakov T., Mamyrbayev O., Ziyatbekova G. Application of fuzzy and interval analysis to the study of the prediction and control model of the eridemiologic situation// Journal of Theoretical and Applied information Technology.- Vol.96(14).- P.4358-4368
 13. Dzhomartova Sh.A., Mazakov T.Zh, Karymsakova N.T., Zhaydarov A.M. Comparison of Two Interval Arithmetic// Applied Mathematical Sciences.- 2014.- Vol.8(72).- P.-3593-3598. DOI.10.12988/ams.2014.44301
 14. Mazakov T., Wójcik W., Jomartova Sh., Karymsakova N., Ziyatbekova G., Tursynbai A. The Stability Interval of the Set of Linear System// Intl. Journal of electronics and Telecommunications.- 2021.- Vol.67(2).- P.155-161. DOI: 10.24425/ijet.2021.135958

References

1. Loginov A.A. Aktual'nost' ispol'zovaniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики.- 2015.- Т. 1.- S. 704-705. [in Russ.]
2. Husnutdinov T.D., Shherbakova A.V., Komarova A.P., Rublevskaja E.V., Reshetnikov A.Ju. Perspektivy ispol'zovaniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov v innovacionnyh proektah// Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики.- 2017.- Т. 3.- S. 139-141. [in Russ.]
3. Lju Sh., Li., Tan C., Vu Sh., God'e Zh.-L. Razrabotka bespilotnyh transportnyh sredstv.- М.: ДМК Пресс.- 2022.- 246 с. ISBN 978-5-97060-969-9. [in Russ.]
4. Avgustov L.I i dr. Navigacija letatel'nyh apparatov v okolozemnom prostranstve. – М.: ООО «Nauchtehlitizdat», 2015. -592s. ISBN 978-5-93728-146-3. [in Russ.]
5. Berns V.A., Dolgopолоv A.V. i dr. Jeksperimental'nyj modal'nyj analiz letatel'nyh apparatov. – Novosibirsk: NGTU, 2023. – 328 s. ISBN 978-5-7782-3209-9. [in Russ.]
6. Tang Than' Lam Sistemnyj analiz i optimizacija rezhimov poleta dlja upravlenija letatel'nym apparatom // Avtoref. disser. kand. tehn. nauk, spec. 05.13.01, Moskva, 2015.-155 s. [in Russ.]
7. Mazakova A., Jomartova Sh., Vfzakov T., Shormanov., Amirkhanov B. Controllability of an unmanned aerial vehicle.// 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON) - C.1-5. DOI 10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830244
8. Mazakova A., Jomartova Sh., Wójcik W., Mazakov T., Ziyatbekova G. Automated Linearization of a System of Nonlinear Ordinary Differential Equations// Intl. Journal of electronics and Telecommunications.- 2023.- Vol.69(4).- P.655-660. DOI: 10.24425/ijet.2023.147684
9. Smolencev N.K. MatLab. Programmirovaniye na Visual C#, Borland JBuilder, VBA. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 464 с. [in Russ.]
10. D'jakonov V., Abramenkova I. MATLAB. Obrabotka signalov i izobrazhenij. Special'nyj spravochnik. – SPb.: Piter, 2002. - 608 s. ISBN 5-318-00667-1. [in Russ.]

11. A.s. №45318 ot 2.05.2024 g. Mazaқova Ә.Т., Mazakov T.Zh., Dzhomartova Sh.A. Opredelenie ustojchivosti BPLA. Programma dlja JeVM. [in Russ.]
12. Issimov N., Mazakov T., Mamyrbayev O., Ziyatbekova G. Application of fuzzy and interval analysis to the study of the prediction and control model of the eridemiologic situation// Journal of Theoretical and Applied information Technology.-Vol.96(14).- P.4358-4368
13. Dzhomartova Sh.A., Mazakov T.Zh, Karymsakova N.T., Z haydarov A.M. Comparison of Two Interval Arithmetic// Applied Mathematical Sciences.-2014.-Vol.8(72).- P.-3593-3598. DOI.10.12988/ams.2014.44301
14. Mazakov T., Wójcik W., Jomartova Sh., Karymsakova N., Ziyatbekova G., Tursynbai A. The Stability Interval of the Set of Linear System// Intl. Journal of electronics and Telecommunications.-2021.-Vol.67(2).- P.155-161. DOI: 10.24425/ijet.2021.135958

Сведение об авторах

Мазақова А.Т. – докторант Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Джомартова Ш.А. - доктор технических наук, доцент, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: jomartova@mail.ru;

Мазаков Т.Ж. – доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Тойкенов Г.Ч. - кандидат физико-математических наук, доцент, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: gumyrbektoike@mail.ru;

Әлиасқар М.С. - докторант Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: m.alyasqar@gmail.ru

Information about the authors

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


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

Mazakov T.Zh. – Doctor of Physical and mathematical sciences, professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Tokenov G.Ch. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: gumyrbektoike@mail.ru;

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

РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

¹Г.И. Жолдангарова, ^{2,3}М.Н. Калимолдаев, ^{4,5}В.Б. Барахнин, ^{2,3}Г.З. Зиятбекова ,
³М.Т. Аршидинова

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

³Институт информационных и вычислительных технологий, КН МНВО РК, Алматы, Казахстан,

⁴Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
Новосибирск, Россия,


⁵Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

 Корреспондент-автор: ziyatbekova@mail.ru

В статье рассматривается разработка микропроцессорной системы для мониторинга нагрузки электроэнергетических систем на основе технологий IoT. Приведен обзор научных исследований в данной области. В качестве пилотного прототипа разработана микропроцессорная система измерения климатических параметров, а также напряжения и тока. Система предназначена для обеспечения эффективного контроля и управления тепловым насосом и связанным оборудованием. Построена информационная схема, которая описывает взаимодействие между компонентами системы мониторинга нагрузки электроэнергетических систем и потоки информации от датчиков до конечного хранения данных.

Ключевые слова: микропроцессорная система, датчик, микрокомпьютер Raspberry, контроллер, платформа Arduino MEGA и FPGA.

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ЖҮКТЕМЕСІН БАҚЫЛАУ ҮШІН ДЕРЕКТЕРДІ БЕРУДІҢ МИКРОПРОЦЕССОРЛЫҚ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

¹Г.И. Жолдангарова, ^{2,3}М.Н. Калимолдаев, ^{4,5}В.Б. Барахнин, ^{2,3}Г.З. Зиятбекова ,
³М.Т. Аршидинова

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

²әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

³Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, ҚР ҒК ҒЖБМ, Алматы, Қазақстан,

⁴Ақпараттық және есептеу технологияларын Федералды зерттеу орталығы, Новосибирск, Ресей,

⁵Новосибирск мемлекеттік университеті, Новосибирск, Ресей,

e-mail: igibaevna@bk.ru

Мақалада IoT технологияларына негізделген электр энергетикалық жүйелерінің жүктемесін бақылауға арналған микропроцессорлық жүйенің дамуы қарастырылады. Осы саладағы ғылыми зерттеулерге шолу жасалған. Пилоттық прототип ретінде климаттық параметрлерді, сондай-ақ кернеу мен тоқты өлшейтін микропроцессорлық жүйе жасалды. Жүйе жылу сорғысымен байланысты жабдықты

тиімді бақылау мен басқаруды қамтамасыз етуге арналған. Электр энергетикалық жүйелердің жүктемесін бақылау жүйесінің компоненттері мен сенсорлардан деректерді соңғы сақтауға дейінгі ақпарат ағындары арасындағы өзара әрекеттесуді сипаттайтын ақпараттық схема құрылды.

Түйін сөздер: микропроцессорлық жүйе, сенсор, Raspberry микрокомпьютері, контроллер, Arduino Mega платформасы және FPGA.

DEVELOPMENT OF A MICROPROCESSOR-BASED DATA TRANSMISSION SYSTEM FOR LOAD MONITORING OF ELECTRIC POWER SYSTEMS

¹G.I. Zholdangarova, ^{2,3}M.N. Kalimoldayev, ^{4,5}V.B. Barakhnin, ^{2,3}G.Z. Ziyatbekova ,
³M.T. Arshidinova

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

³Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan,

⁴Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Novosibirsk, Russia,

⁵Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia,

e-mail: igibaevna@bk.ru

The paper deals with the development of a microprocessor-based system for load monitoring of electric power systems based on IoT technologies. An overview of scientific research in the field is given. A microprocessor-based system for measuring climatic parameters as well as voltage and current has been developed as a pilot prototype. The system is designed to provide effective monitoring and control of the heat pump and related equipment. An information scheme is constructed that describes the interaction between components of the power system load monitoring system and the information flows from the sensors to the final data storage system.

Keywords: microprocessor system, sensor, Raspberry microcomputer, controller, Arduino MEGA and FPGA platform.

Введение. Рост населения и экономики Республики Казахстан приводит к огромному спросу на электроэнергию и энергетические ресурсы. Как отмечают аналитики казахстанской версии журнала «Forbes», в целом по стране наблюдается дефицит электроэнергии, что делает энергетический сектор уязвимым. Казахстан столкнулся с дефицитом электрической энергии и мощности, который в вечерние часы составляет более 1,3 ГВт. В региональном же разрезе, особенно в южной зоне, дефицит электроэнергии серьезно подрывает энергетическую безопасность страны. Только в марте 2023 года в Южном Казахстане производство компенсировало всего 57,2% потребления — дефицит составил 971,0 млн кВт·ч.

В сложившихся условиях важно иметь инстру-

мент для мониторинга нагрузки в энергосистеме с целью выявления на его основе возможности развития критических ситуаций, чтобы иметь возможность принимать управленческие решения для недопущения их возникновения. Эффективным методом решения данной задачи является использование технологий Интернета вещей (IoT) для мониторинга процессов в энергосистеме [1], сочетающего в себе несколько методов анализа и прогнозирования данных о потреблении электроэнергии [2].

Использование IoT в энергетическом секторе относится к числу бурно развивающихся в настоящее время технологий. Нашим вкладом в развитие этой области будет разработка встроенного контроллера Arduino MEGA и FPGA. Все кри-

тические параметры на подстанции, включая напряжение, частоту, мощность, состояние выключателя и температуру внутри системы, контролируются с его использованием посредством занесения в базу данных веб-сервера для последующего анализа. Предопределенные механизмы запуска событий также запрограммированы на контроллере с функциями записи: данные записываются контроллером и передаются на веб-сервер с помощью микроконтроллера ESP32. Контроллер, встроенный в FPGA, обеспечивает высокоскоростные и надежные функции сбора и обработки данных.

Информационные системы имеют преимущества по сравнению с традиционными методами мониторинга. Они способны выявлять сложные закономерности в данных, что повышает точность прогнозов. В целом разработка этой информационной системы открывает перспективы для повышения надежности и эффективности энергосистем.

Стратегической целью этой программы является разработка информационной системы для мониторинга нагрузки электроэнергетических сетей на основе IoT-технологий, использующих встроенный контроллер Arduino MEGA и FPGA для мониторинга на подстанции напряжения, частоты, мощности, состояния выключателя, температуры внутри системы.

Микропроцессорная система включает в себя следующие компоненты:

- Модуль сбора данных: Сбор данных о нагрузке и других параметрах сети с помощью датчиков IoT.
- Модуль очистки данных: Предварительная обработка данных для удаления шумов и выбросов.
- Модуль представления результатов: Формирование отчетов и визуализация результатов прогнозирования.

Литературный обзор. Интернет вещей (IoT) стал революционной технологией в области мониторинга энергосетей [3, 4]. Благодаря решению проблем и использованию возможностей FPGA продолжит трансформировать энергетический

сектор [5]. В [6, 7, 8] статьи охватывают широкий спектр тем, включая приложения IoT для мониторинга нагрузки, преимущества и проблемы использования IoT, а также будущие направления развития в Республике Казахстан.

Прежде всего, отметим статью [8] академика М.Н. Калимолдаева, которая вносит весомый вклад в разработку информационных систем с интегрированными модулями машинного обучения для робототехники и автоматизации. Идеи этой статьи получают дальнейшее развитие в данной работе. Направление исследований определяется тем, что Интернет вещей в последнее время приобрел широкое распространение. Так в статье [9] представлен подход на основе Интернета вещей к решению проблем энергетики.

Данное исследование реализовано для удовлетворения этих потребностей путем разработки нового интеллектуального датчика FPGA. Указанный подход для решения различных задач описан в работах [10, 11, 12, 13, 14].

Многочисленное выполнение прикладной программы отнимает огромное количество времени. Чтобы сократить время выполнения, в статье [15] предлагается использовать адаптивную модель.

Автор в [16] предположил, что использование технологии Fog/Edge может обеспечить решение таких проблем, как осуществимость Интернета вещей (соображения безопасности в отношении вычислений и стоимости системы) и будущая осуществимость (надлежащее проектирование инфраструктуры для будущих приложений).

Управление электроприборами включает в себя сбор и анализ данных об их энергопотреблении, оптимизацию графиков их работы, расчет показателей энергопотребления и реализацию решений по оптимизации энергопотребления [17].

Статьи [18, 19, 20, 21] содержат ценную информацию об использовании Интернета вещей для повышения эффективности и надежности электроэнергетических сетей посредством мониторинга нагрузки.

Вот некоторые ключевые выводы из этих статей:

- Технологии Интернета вещей могут значительно повысить точность мониторинга и прогнозирования нагрузки.

- Системы на базе Интернета вещей могут собирать данные в режиме реального времени из широкого спектра источников, которые можно использовать для разработки более точных моделей нагрузки.

- Системы на базе Интернета вещей можно использовать для выявления событий экстремальной нагрузки, что может помочь предотвратить перебои в подаче электроэнергии.

- Системы на базе Интернета вещей можно использовать для оптимизации энергопотребления, что может помочь снизить затраты и воздействие на окружающую среду.

Материалы и методы. Рассмотрена методика экспериментальных исследований, описан процесс обработки результатов измерения.

Результаты и обсуждение.

Этап 1. Для начального этапа, разработки умной системы для мониторинга электропотребления, уровни Технологической Готовности (TRL) могут быть описаны следующим образом:

- теоретическое исследование возможностей интеграции датчиков IoT и интеллектуальных счетчиков;
- разработка и тестирование первичных версий системы с использованием реальных данных в лабораторных условиях;
- анализ данных и предоставление информации о потреблении электроэнергии пользователям.

Каждый этап TRL требует определенных исследований, разработок и тестирований, а также постепенного увеличения масштаба и их сложно-

сти. Это обеспечивает систематический подход к разработке и внедрению технологии.

Этап 2. Разработка высокоскоростной системы сбора и обработки данных контроллера.

На втором этапе контроллер, встроенный в FPGA, обеспечивает высокоскоростной и надежный сбор и обработку данных. Сбор данных осуществляется с помощью датчиков Zmpt101b и ACQ720. Благодаря высокой частоте дискретизации системы как установившиеся, так и переходные режимы энергосистемы контролируются с использованием одного источника времени. С помощью платформы IoT данные передаются через локальную сеть для записи в базу данных. Критерием успешной реализации будет точность, надежность и производительность системы.

Технологическая готовность определяется наличием высокоскоростной системы сбора и обработки данных контроллера в составе полнофункционального макета информационной системы мониторинга нагрузки электроэнергетических сетей – индекс готовности [22, 23].

Этап 3. Разработка методов и протоколов связи, а также необходимых мер кибербезопасности для занесения на сервер данных встроенного контроллера Arduino MEGA и FPGA.

Основными принципами исследования являются существующие технологии и методы передачи данных и кибербезопасности. Теоретическая разработка концепции протоколов связи и мер кибербезопасности для Arduino MEGA и FPGA.

TRL включает в себя углубление исследований, разработок и тестирований, обеспечивая поэтапный и систематический подход к разработке и внедрению технологии в реальные условия.

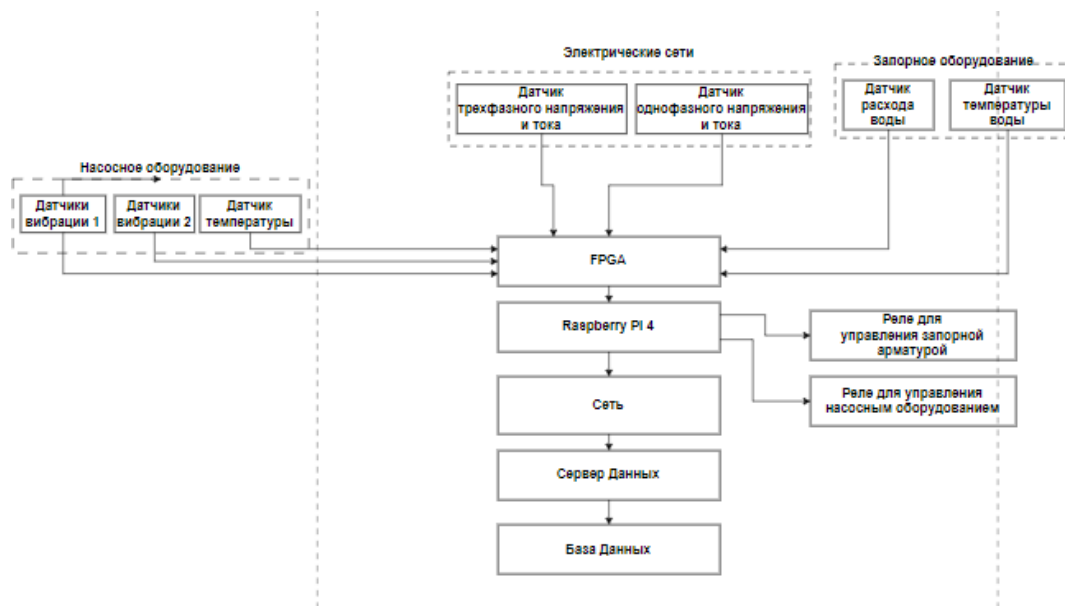


Рис. 1 - Структурная схема системы

Опишем пилотный прототип создаваемой системы, предназначенный для обеспечения эффективного контроля и управления тепловым насосом и связанным оборудованием, основная задача которого – сбор данных от датчиков, их обработка и использование для управления насосом и запорной арматурой в реальном времени. Информационная схема описывает взаимодействие между компонентами системы и потоком информации от датчиков до конечного хранения данных (Рисунок 1).

Описание компонентов и их взаимодействия

Датчики:

- Датчики вибрации 1 и 2 устанавливаются на корпусе насоса и ближе к ротору, чтобы измерять вибрации, которые могут указывать на возможные механические неисправности или износ.
- Датчик температуры монтируется на корпусе насоса рядом с подшипниками, отслеживая его рабочую температуру для предотвращения перегрева.
- Датчик трёхфазного напряжения и тока измеряет параметры трехфазных цепей, что позволяет контролировать (для мониторинга) нагрузку и напряжение.
- Датчик однофазного напряжения и тока

контролирует однофазные цепи, обеспечивая дополнительную информацию о состоянии системы.

- Датчик расхода воды измеряет объем или поток воды, проходящей через насос, чтобы обеспечить его оптимальную работу и предотвратить возможные проблемы.
- Датчик температуры воды контролирует температуру воды в системе, что важно для управления процессами и предотвращения перегрева.

Сбор данных: Все датчики передают данные на Raspberry Pi 4 через FPGA, который выполняет первичную обработку всех данных (вибрации, температуры, напряжения и тока), т.е. регулярно отправляют свои показания.

Устройства управления:

- Реле для управления запорной арматурой управляет клапанами и запорной арматурой в системе, контролируя потоки жидкости и обеспечивая их правильное направление.
- Реле для управления насосом включает/выключает насос в зависимости от условий работы, заданных в программном обеспечении Raspberry Pi 4. Это позволяет автоматически регулировать работу насоса в ответ на изменения в системе. Raspberry Pi 4 отправляет команды на

реле для управления насосом и запорной арматурой, основываясь на полученных данных и выполненном анализе.

Команды управления реле (для запорной арматуры и насоса) формируются на основе данных от датчиков и логики управления.

FPGA:

- FPGA получает данные от всех датчиков (вибрация, температура, трехфазное и однофазное напряжение и ток).

- Выполняет первичную обработку данных, включая фильтрацию и сглаживание.

- Обработанные данные передаются на Raspberry Pi 4.

Контроллер:

- Raspberry Pi 4 (центральный контроллер системы)

Платформа IoT основана на базе Raspberry Pi 4, которая является основной в системе и необходима для обработки данных; управления реле и передачи данных через сеть. Данные могут быть переданы на сервер для хранения и анализа. Сервер базы данных принимает данные от платформы IoT и сохраняет их для дальнейшего отображения в ситуационном центре, анализа и отчетности.

Raspberry Pi 4 и FPGA выступает в роли центрального контроллера системы. Они принимают данные от всех датчиков через соответствующие интерфейсы (GPIO, SPI, I2C или USB). Raspberry Pi 4 обрабатывает данные, выполняет вычисления и принимает решения на основе предустановленных алгоритмов.

Обработка данных: Raspberry Pi 4 через FPGA получает данные от датчиков, обрабатывает их в реальном времени, используя установленные алгоритмы и логические правила. На основе анализа данных принимаются решения о необходимости включения или выключения насосов и управления запорной арматурой.

Интерфейсы и связи:

- Интерфейсы датчиков (например, аналоговые выходы, цифровые сигналы)

- SPI/I2C/USB (интерфейсы для подключения датчиков и реле к Raspberry Pi 4)

- Ethernet/Wi-Fi (для передачи данных в локальную сеть)

Платформа IoT:

- Локальная сеть (LAN)

- Сервер данных (для хранения и обработки данных)

Данные от Raspberry Pi 4 передаются в локальную сеть (LAN) через Ethernet или Wi-Fi. Платформа IoT в сети обеспечивает связь между Raspberry Pi 4 и сервером данных. Сервер данных принимает и хранит данные, переданные от Raspberry Pi 4. Это может включать в себя хранение исторических данных, обработку информации и выполнение аналитики.

База данных:

Сервер базы данных (например, SQL или NoSQL база данных для хранения данных). База данных на сервере служит для долговременного хранения данных. Здесь сохраняются все данные, полученные от датчиков и обработанные контроллером. База данных также используется для формирования отчетов и анализа состояния системы. Обработанные данные передаются в локальную сеть, затем на сервер данных, где сохраняются в базе данных. Данные могут быть использованы для последующего анализа, формирования отчетов и оптимизации работы системы.

Реляционная база данных (SQL). Форматы и таблицы:

Таблица sensor_data:

- id (INT, PK) — Уникальный идентификатор записи

- timestamp (TIMESTAMP) — Время измерения

- sensor_type (VARCHAR) — Тип датчика (вибрация, температура, напряжение и т.д.)

- sensor_location (VARCHAR) — Местоположение датчика (например, корпус насоса, ротор и т.д.)

- value (FLOAT) — Значение измерения

Таблица device_control:

- id (INT, PK) — Уникальный идентификатор записи
- timestamp (TIMESTAMP) — Время управления
- device_type (VARCHAR) — Тип устройства (например, насос, запорная арматура)
- action (VARCHAR) — Действие (включить/выключить)

Таблица system_logs:

- id (INT, PK) — Уникальный идентификатор записи
- timestamp (TIMESTAMP) — Время события
- log_type (VARCHAR) — Тип лога (ошибка, предупреждение и т.д.)
- message (TEXT) — Сообщение лога

Преимущества:

- Хорошо структурированы данные.
- Поддержка сложных запросов и транзакций.
- Хорошая поддержка для аналитики и отчетности.

Приступим к описанию разрабатываемой система мониторинга электропотребления. Предлагается следующая ее схема, состоящая из трех блоков:

- 1) блок приема и передачи текущей информации (вибрации, температуры, напряжения и тока);
- 2) блок обработки постоянной и оперативной информации об угрозе аварии (сервер);
- 3) блок прогнозирования аварийных ситуаций в энергосистемах.

Основной информацией для мониторинга нагрузки электроэнергетических систем являются данные, поступающие от датчиков, показанных на рисунке 1. Дополнительную информацию дают данные с датчиков через соответствующие интерфейсы. Блок приема-передачи текущей информации реализован в виде датчиков вибрации, температуры, напряжения и тока. Датчики подключены к микропроцессору Arduino, который обеспечи-

вает предварительную обработку поступающих с датчиков данных и передает их для дальнейшей обработки. Используется устройство на базе микроконтроллера ATmega 328. В комплект поставки входит все необходимое для удобной работы с микроконтроллером. Для начала работы с устройством достаточно подать питание от адаптера переменного/постоянного тока или аккумулятора, либо подключить его к компьютеру с помощью USB-кабеля.

Блок обработки постоянной и оперативной информации об угрозе аварийных ситуаций содержит постоянную информацию о характеристиках энергосистемы, а также оперативно получает текущую информацию, на основе обработки которой блок рассчитывает уровень безопасности, тревожности или катастрофичности электроэнергетического комплекса. В последнем случае он автоматически оповещает государственные органы (МЧС, акиматы и т.д.) о возможной угрозе аварии.

Выводы. В целом использование Интернета вещей для мониторинга нагрузки электроэнергетических сетей является быстро развивающейся областью исследований, которая потенциально может оказать существенное влияние на энергетический сектор.

Дано описание разработанной в Казахстане технологии мониторинга нагрузки электроэнергетических систем, обсуждены результаты ее практического использования в отдельных регионах и намечены направления дальнейшего развития. Сформулированы цель и основные задачи исследований, направленных на разработку методики прогнозирования электроэнергетической аварии как чрезвычайной ситуации на основе анализа различных существующих методов. Использован метод непрерывной волны или метод ультразвукового импульсного эха. В качестве пилотного прототипа разработана автономная микрокомпьютерная система передачи климатических данных на основе микропроцессорной техники и датчиков. Разработана программа мониторинга факторов волн нагрузки в режиме реального времени для датчиков определения уровня безопасности.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств грантового финансирования исследований на 2024-2026 годы по проекту АР23490529 «Разработка информационной системы и математических моделей для мониторинга и прогнозирования нагрузки электроэнергетических систем на основе гибридных технологий».

Литература

1. Ahmed N., De D., Hussain M. I. Internet of things (IoT) for smart precision agriculture and farming in rural areas // IEEE Internet of Things Journal. 2018. Vol. 5(6)- P. 4890- 4899. DOI 10.1109/IIOT.2018.2879579
2. Liangzhi Li, Kaoru Ota, Mianxiong Dong. When Weather Matters: IoT-Based Electrical Load Forecasting for Smart Grid // IEEE Communications Magazine, 2017. – Vol. 5(10).- P. 46-51. DOI 10.1109/MCOM.2017.1700168
3. Prasanna Hambarde, Rachit Varma, Shivani Jha. The Survey of Real Time Operating System: RTOS. – IEEE International Conference on Electronic Systems, Signal Processing and Computing Technologies, 2014. DOI 10.1109/ICESC.2014.15
4. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M., Sundetov T. Information systems of integrated machine learning modules on the example of a verbal robot // News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2019. -No. 6(438).- P. 215-222. DOI 10.32014/2019.2518-170X.173
5. Kalimoldayev M., Tynymbayev S., Magzom M., Tananova D., Lyshevski S. FPGA Implementation of Encryption Algorithms Based on Residual Polynomials // 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), IEEE, Kyiv, Ukraine, 2020. DOI 10.1109/ELNANO50318.2020.9088890
6. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M. Determination of the power interaction of the hydro turbine GRID with a fluid flow for a double-rotor micro hydro power plant // Известия НАН РК. Серия физико-математическая, 2019. – No. 4. – P. 59-67. DOI 10.32014/2019.2518-1726.4
7. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M. Development and research of a mathematical model of a solar photo converter with an inverter for converting direct current to alternating voltage // Известия НАН РК. Серия физико-математическая, 2019. – No. 4. – P. 135-142. DOI 10.32014/2019.2518-1726.52
8. Kalimoldayev M.N., Pak I. T., Baipakbayeva S., Mun G., Shaltykova D. B., I. E. Suleimenov. Methodological basis for the development strategy of artificial intelligence systems in the Republic of Kazakhstan in the message of the president of the Republic of Kazakhstan // News of the National Academy of Sciences of the Republic of the Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2018. – Vol. 6. – P. 47-54. DOI 10.32014/2018.2518-170X.34
9. Kalimoldayev M.N., Abdildayeva A., Zhukabayeva T., Turaev Sh. The investigation of the internet of things (IoT) in electric power systems // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences, 2019. – Vol. 5. – No. 437. – P. 144-150. DOI 10.32014/2019.2518-170X.136
10. [online] Available: <http://www.ni.com/fpga/> (17.07.2024)
11. Introduction to FPGA technology: Top 5 benefits, [online] Available: <http://www.ni.com/white-paper/6984/en/> (13.05.2024)
12. Hao Z., Lianping G., Jie M., and Peng Y. Research on the hardware co-processing technology for

-
- waveform character searching with a digital oscilloscope, Proc. 13th IEEE Int. Conf. Electron. Meas. Instrum, 2017.-P. 92-97. DOI 10.1109/ICEMI.2017.8265920
- 13.Escobar F.A., Chang X., and Valderrama C. Suitability analysis of FPGAs for heterogeneous platforms in HPC, IEEE Trans. – Parallel Distrib. Syst. 2016, – Vol. 27(2). – P. 600-612. DOI 10.1109/TPDS.2015.2407896
- 14.Sheng J., Yang C., Sanaullah A., Papamichael M., Caulfield A., and Herbordt M.C. HPC on FPGA clouds: 3D FFTs and implications for molecular dynamics, 2017. – Proc. 27th Int. Conf. Field Program. Logic Appl. DOI 10.23919/FPL.2017.8056853
- 15.Chen R., and Prasanna V.K. Computer generation of high throughput and memory efficient sorting designs on FPGA, IEEE Trans. – Parallel Distrib. Syst. 2017. – Vol. 28. – No. 11. – P. 3100-3113. DOI: 10.1109/TPDS.2017.2705128
- 16.Хироаки Н. Information and communication platform for providing smart community services: System implementation and use case in Saitama city // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, 2018. – P. 1375-1380. DOI 10.1109/ICIT.2018.8352380.
- 17.Hussien N. Ali, Daleh Al-Magsoosi A.A., AlRikabi S., Abed F.T. Monitoring the Consumption of Electrical Energy Based on the Internet of Things Applications // International Journal of Interactive Mobile Technologies.- 2021.-Vol.15(07). DOI 10.3991/ijim.v15i07.20183.
- 18.Motlagh N.H., Mohammadrezaei M., Hunt J., Zakeri B. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector // Energies, 2020. DOI:10.3390/en13020494
- 19.Liu Hua, Junguo Zhang, Lin Fantao. Internet of Things Technology and its Applications in Smart Grid // TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering.- 2014.-Vol. 12. (2)- DOI 10.11591/telkom nika.v12i2.4178
- 20.Tanveer Ahmad, Dongdong Zhang. Using the internet of things in smart energy systems and networks //Sustainable Cities and Society.- 2021.-Vol. 68. DOI 10.1016/j.scs.2021.102783
- 21.Mohammad Kamrul Hasan, Musse Mohamud Ahmed, Bishwajeet Pandey, Hardik Gohel, Shayla Islam, Izzul Fitrie Khalid. Internet of Things-Based Smart Electricity Monitoring and Control System Using Usage Data // Wireless Communications and Mobile Computing.- 2021.- P.1-16/ DOI 10.1155/2021/6544649
- 22.Chen C., Li K., Duan M. Chapter 6. Extreme Learning Machine and Its Applications in Big Data Processing. Big Data Analytics for Sensor-Network Collected Intelligence Intelligent Data-Centric Systems, 2017. – Pp. 117-150. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809393-1.00006-4>
- 23.Heddam S., Kim S., Mehr A., Zounemat-Kermani M. Chapter 11. A long short-term memory deep learning approach for river water temperature prediction. Current Trends and Advances in Computer-Aided Intelligent Environmental Data Engineering Intelligent Data-Centric Systems, 2022. - P. 243-270. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85597-6.00015-X>.

References

- 1.Ahmed N., De D., Hussain M. I. Internet of things (IoT) for smart precision agriculture and farming in rural areas // IEEE Internet of Things Journal. 2018. Vol. 5(6)- P. 4890- 4899. DOI 10.1109/JIOT.2018.2879579
2. Liangzhi Li, Kaoru Ota, Mianxiong Dong. When Weather Matters: IoT-Based Electrical Load Forecasting for Smart Grid // IEEE Communications Magazine, 2017. – Vol. 5(10).- P. 46-51. DOI 10.1109/MCOM.2017.1700168
- 3.Prasanna Hambarde, Rachit Varma, Shivani Jha. The Survey of Real Time Operating System: RTOS. – IEEE International Conference on Electronic Systems, Signal Processing and

Computing Technologies, 2014. DOI 10.1109/ICESC.2014.15

4. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M., Sundetov T. Information systems of integrated machine learning modules on the example of a verbal robot // News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2019. -No. 6(438).- P. 215-222. DOI 10.32014/2019.2518-170X.173
5. Kalimoldayev M., Tynymbayev S., Magzom M., Tananova D., Lyshevski S. FPGA Implementation of Encryption Algorithms Based on Residual Polynomials // 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), IEEE, Kyiv, Ukraine, 2020. DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088890
6. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M. Determination of the power interaction of the hydro turbine GRID with a fluid flow for a double-rotor micro hydro power plant // Izvestiya NAN RK. Seriya fiziko-matematicheskaya, 2019. – No. 4. – P. 59-67. DOI10.32014/2019.2518-1726.4
7. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev M. Development and research of a mathematical model of a solar photo converter with an inverter for converting direct current to alternating voltage // Izvestiya NAN RK. Seriya fiziko-matematicheskaya, 2019. – No. 4. – P. 135-142. DOI 10.32014/2019.2518-1726.52
8. Kalimoldayev M.N. Methodological basis for the development strategy of artificial intelligence systems in the Republic of Kazakhstan in the message of the president of the Republic of Kazakhstan // News of the National Academy of Sciences of the Republic of the Kazakhstan. Series of geology and technical sciences, 2018. – Vol. 6. – P. 47-54. DOI10.32014/2018.2518-170X.34
9. Kalimoldayev M.N. The investigation of the internet of things (IoT) in electric power systems // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences, 2019. – Vol. 5. – No. 437. – P. 144-150. DOI 10.32014/2019.2518-170X.136
10. [online] Available: <http://www.ni.com/fpga/> (17.07.2024)
11. Introduction to FPGA technology: Top 5 benefits, [online] Available: <http://www.ni.com/white-paper/6984/en/> (13.05.2024)
12. Hao Z., Lianping G., Jie M., and Peng Y. Research on the hardware co-processing technology for waveform character searching with a digital oscilloscope, Proc. 13th IEEE Int. Conf. Electron. Meas. Instrum, 2017. – P. 92-97. DOI 10.1109/ICEMI.2017.8265920
13. Escobar F.A., Chang X., and Valderrama C. Suitability analysis of FPGAs for heterogeneous platforms in HPC, IEEE Trans. – Parallel Distrib. Syst. 2016, – Vol. 27. –No. 2. – P. 600-612. DOI 10.1109/TPDS.2015.2407896
14. Sheng J., Yang C., Sanaullah A., Papamichael M., Caulfield A., and Herbordt M.C. HPC on FPGA clouds: 3D FFTs and implications for molecular dynamics, 2017. – Proc. 27 th Int. Conf. Field Program. Logic Appl.
15. Chen R., and Prasanna V.K. Computer generation of high throughput and memory efficient sorting designs on FPGA, IEEE Trans. – Parallel Distrib. Syst. 2017. – Vol. 28. – No. 11. – P. 3100-3113. DOI 10.23919/FPL.2017.8056853
16. Hiroaki N. Information and communication platform for providing smart community services: System implementation and use case in Saitama city // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology, 2018. – P. 1375-1380. DOI 10.1109/ICIT.2018.8352380.
17. Hussien N. Ali, Daleh Al-Magsoosi A.A., AlRikabi S., Abed F.T. Monitoring the Consumption of Electrical Energy Based on the Internet of Things Applications // International Journal of Interactive

Mobile Technologies, 2021.-Vol.15(07). .

18.Motlagh N.H., Mohammadrezaei M., Hunt J., Zakeri B. Internet of Things (IoT) and the Energy Sector // Energies, 2020. DOI:10.3390/en13020494

19.Liu Hua, Junguo Zhang, Lin Fantao. Internet of Things Technology and its Applications in Smart Grid // TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering.- 2014.-Vol. 12. (2)- DOI 10.11591/telkomnika.v12i2.4178

20.Tanveer Ahmad, Dongdong Zhang. Using the internet of things in smart energy systems and networks //Sustainable Cities and Society.- 2021.-Vol. 68. DOI 10.1016/j.scs.2021.102783

21.Mohammad Kamrul Hasan, Musse Mohamud Ahmed, Bishwajeet Pandey, Hardik Gohel, Shayla Islam, Izzul Fitrie Khalid. Internet of Things-Based Smart Electricity Monitoring and Control System Using Usage Data // Wireless Communications and Mobile Computing.- 2021.- P.1-16. DOI 10.1155/2021/6544649

22.Chen C., Li K., Duan M. Chapter 6. Extreme Learning Machine and Its Applications in Big Data Processing. Big Data Analytics for Sensor-Network Collected Intelligence Intelligent Data-Centric Systems, 2017. – P. 117-150.<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809393-1.00006-4>

23.Heddam S., Kim S., Mehr A., Zounemat-Kermani M. Chapter 11. A long short-term memory deep learning approach for river water temperature prediction. Current Trends and Advances in Computer-Aided Intelligent Environmental Data Engineering Intelligent Data-Centric Systems, 2022. – P. 243-270. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85597-6.00015-X>

Сведения об авторах

Жолдангарова Г.И - докторант Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: igibaevna@bk.ru;

Калимолдаев М.Н.-доктор физико-математических наук, профессор, академик Национальной Академии Республики Казахстан; Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан, e-mail: mnk@ipic.kz;

Баракнин В.Б.- доктор технических наук, заведующий лабораторией Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий, заведующий кафедрой математического моделирования Новосибирского государственного университета, Новосибирск, Россия, e-mail: bar@ict.nsc.ru;

Зиятбекова Г.З. – PhD, и.о. доцента Казахского национального университета имени аль-Фараби, старший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан, автор-корреспондент, e-mail: ziyatbekova@mail.ru;

Аршидинова М.Т.- PhD, старший научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий, КН МНВО РК; Алматы, Казахстан, e-mail: Mukaddas_arshidi@mail.ru

Information about the authors

G. Zholdangarova – Doctoral student at L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: igibaevna@bk.ru;

M. Kalimoldayev-Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of the Republic of Kazakhstan; Chief Researcher, Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: mnk@ipic.kz;

V.Barakhnin - Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of the Federal Research Center for Information and Computing Technologies, Head of the Department of Mathematical Modeling, Novosibirsk

State University, Novosibirsk, Russia, e-mail: bar@ict.nsc.ru;

G.Ziyatbekova - PhD, Acting Associate Professor Al-Farabi Kazakh National University, Senior Researcher, Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ziyatbekova@mail.ru;

M.Arshidinova - PhD, Senior Researcher, Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Mukaddas_arshidi@mail.ru

OPTIMAL CONTROL OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE**¹A.T. Mazakova, ¹Sh.A. Jomartova, ^{1,2}T.Zh. Mazakov[✉], ³G.Ch. Toikenov, ²M.S. Aliaskar**¹Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan,²International Engineering and Technology University, Almaty, Kazakhstan,³Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan[✉]Corresponding author: tmazakov@mail.ru

The main objective of this work is to develop algorithms and software solutions for finding optimal control strategies for an unmanned aerial vehicle, the mathematical model of which is represented by a system of ordinary differential equations. Using the maximum principle, an algorithm was developed to determine the optimal control. The presented methods and models are of high practical importance for managing various economic and technical systems.

Keywords: UAV, dynamics, mathematical model, controllability, stability.**ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТЫН ОҢТАЙЛЫ БАСҚАРУ****¹А.Т. Мазақова, ¹Ш.А. Джомартова, ^{1,2}Т.Ж. Мазақов[✉], ³Г.Ч. Тойкенов, ²М.С. Әлиаскар**¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,²Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,³Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

e-mail: tmazakov@mail.ru

Бұл жұмыстың негізгі міндеті-математикалық моделі қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесімен ұсынылған дронды басқарудың оңтайлы стратегияларын іздеу үшін алгоритмдер мен бағдарламалық шешімдерді құру. Максимум принципін қолдана отырып, оңтайлы басқаруды анықтау үшін алгоритм жасалды. Ұсынылған әдістер мен модельдер әртүрлі экономикалық және техникалық жүйелерді басқарудың жоғары практикалық маңыздылығына ие.

Түйін сөздер: ҰҰА, динамика, математикалық модель, басқарылғыштық, тұрақтылық.**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ****¹А.Т. Мазақова, ¹Ш.А. Джомартова, ^{1,2}Т.Ж. Мазақов[✉], ³Г.Ч. Тойкенов, ²М.С. Алиаскар**¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан,²Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан,³Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,

e-mail: tmazakov@mail.ru

Главная задача данной работы заключается в создании алгоритмов и программных решений для поиска оптимальных стратегий управления беспилотным летательным аппаратом, чья математическая модель представлена системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Используя принцип максимума, был разработан алгоритм для определения оптимального управления. Представленные методы и модели обладают высокой практической значимостью для управления различными экономическими и техническими системами.

Ключевые слова: БПЛА, динамика, математическая модель, управляемость, устойчивость.

Introduction. Unmanned aviation is actively developing worldwide due to the growing demand for lightweight, relatively inexpensive aircraft with high maneuverability, capable of performing a wide range of tasks. Unmanned aerial vehicles (UAVs) are successfully used in both military operations and civilian applications, including linearization [1-5].

The study of many aviation systems is reduced to the creation of mathematical models described by nonlinear ordinary differential equations. However, no universal solution methods have been developed

for nonlinear systems. It is important to consider the nature of nonlinearities when studying such mathematical models.

Optimization of control is one of the key tasks in the theory of controlled dynamic systems. To design and operate aviation systems, it is necessary to achieve the goal with maximum efficiency, which requires minimizing a certain quality functional.

Materials and Methods. The work is devoted to the study of optimal control of the mathematical model of UAV dynamics:

$$\begin{cases} \dot{V} = g(n_{xa} - \sin\Theta) \\ \dot{\Theta} = g(n_{ya} \cos\gamma - \cos\Theta)/V \\ \dot{\Psi} = -gn_{ya} \sin\gamma / (V \cos\Theta) \\ \dot{x} = V \cos\Theta \cos\Psi \\ \dot{y} = V \sin\Theta \\ \dot{z} = -V \cos\Theta \sin\Psi \end{cases} \quad (1)$$

$$n_{xa} = \frac{P \cos\alpha - X_a}{mg}, \quad n_{ya} = \frac{P \sin\alpha + Y_a}{mg} \quad (2)$$

Where:

- x, y, z are the coordinates of the aircraft's center of mass in the normal Earth coordinate system;
- V is the flight speed;
- Θ is the trajectory angle;
- Ψ is the course angle;
- α is the angle of attack;
- γ is the roll angle;
- P is the engine thrust;

- X_a is aerodynamic drag;
- Y_a is aerodynamic lift;
- m is the mass of the aircraft;
- g is gravitational acceleration;
- n_{xa} is the longitudinal overload;
- n_{ya} is the lateral overload (in flow axes of coordinates) [6-7].

Overloads n_{xa}, n_{ya} and the roll angle γ are taken as control variables in (1).

We introduce the following notation:

$$q = \begin{bmatrix} V \\ \Theta \\ \Psi \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix}, q_0 = \begin{bmatrix} V_0 \\ \Theta_0 \\ \Psi_0 \\ x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}, q_1 = \begin{bmatrix} V_1 \\ \Theta_1 \\ \Psi_1 \\ x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

The system of equations (1) is rewritten as the following system of nonlinear ordinary differential equations:

$$\dot{x} = f(x, t) + Bu(t) \quad (4)$$

Where:

- $f(x, t)$ is an n-vector whose elements are continuously differentiable functions of their arguments;
- x is an n-dimensional system state vector;
- u is scalar control.

Control is subject to constraints:

$$u(t) \in U = \{u(t) : u(t) \in C[[t_0, t_1]; -L \leq u(t) \leq L, t \in [t_0, t_1]]\} \quad (5)$$

The problem is to find a control satisfying constraint (5) that transfers the system from the initial state

$$x(t_0) = x_0 \quad (6)$$

to the final specified state

$$x(t_1) = x_1 \quad (7)$$

within a fixed time $t_1 - t_0$.

For the quality assessment of system performance, the following criteria can be selected:

$$J = \int_{t_0}^T [u^*(t)R_0u(t)] dt \quad (8)$$

In functional (8), R_0 is a positively definite $m \times m$ matrix. The required state at the final time can be specified as fixed (7) or changing (satisfying certain conditions).

$$\sum_{j=1}^n c_{ij}x_j(T) \leq d_i, i = \overline{1, k} \quad (9)$$

The optimal control problem is considered, including control constraints (5) with fixed (7) or variable boundaries (8). Currently, solving such problems is accompanied by many mathematical difficulties.

Various formulations of optimal control problems will be considered. The task is to minimize the functional (8) under the constraints (4), (5), (6), and (7). The time moment T is considered given (fixed).

To solve the optimal control problem, we will construct the Hamilton function:

$$H(x(t), u, \psi(t), \psi_0) = u^*(t)R_0u(t) + (g(x, t) + Bu(t))^*\psi \quad (10)$$

And form the conjugate system of differential equations:

$$\frac{d\psi}{dt} = -\left(\frac{\partial g(t)}{\partial t}\right)^*(t)\psi(t), \quad t \in [t_0, T] \quad (11)$$

The optimal control is determined by condition (5) and the maximum of the Hamiltonian:

$$u = \begin{cases} 0 & \text{если } R_0^{-1}B\psi < 0 \\ R_0^{-1}B\psi & \text{если } 0 \leq R_0^{-1}B\psi \leq u_{\max} \\ u_{\max} & \text{если } R_0^{-1}B\psi > u_{\max} \end{cases} \quad (12)$$

Theorem: Let the pair $(u(t), x(t))$, $t \in [t_0, T]$ be the solution to the problem posed above. Then, there necessarily exists a vector function $\psi(t)$, $t \in [t_0, T]$ and a parameter ψ_0 such that:

1) $\psi_0 \leq 0$, $|\psi_0| + |\psi(t)| \neq 0$, $t \in [t_0, T]$

2) The pair $x(t), \psi(t)$, $t \in [t_0, T]$ is the solution to the boundary value problem for the system of differential equations (4) and the corresponding conjugate system of differential equations (11) with boundary conditions (6) and (7) and control (12).

Next, we study the problem of optimal control with fixed boundaries (6)-(7) and control constraints (5). Currently, solving such problems also encounters certain mathematical difficulties.

For the practical solution of the control optimization problem, penalty function methods and the gradient method are applied. To account for constraints at the end of the trajectory (7), we introduce a penalty function $J_k = J + M_k \sum_{i=1}^n [x(T) - x_T]^2$, where $\{k\}$ is a predefined positive sequence tending to infinity. We construct a new functional:

$$J_k = \int_{t_0}^T u^*(t)R_0u(t) + M_k \sum_{i=1}^n [x(T) - x_T]^2$$

The problem can be reformulated as follows: for a given value of the parameter k , find the optimal control minimizing the functional J_k subject to constraints (5)-(7). This problem belongs to the class of optimal control problems with a free right boundary and control constraints.

For it, we will construct the Hamiltonian function:

$$H_k = u^*(t)R_0u(t) + (g(x, t) + Bu(t))^*\psi_k$$

The following solution algorithm is proposed:

Step 1: Let $k = 0$.

Step 2: Calculate the optimal control for the k -th iteration using equation (12), where ψ_k is the solution to the conjugate system of differential equations (11), with the boundary condition at the end:

$$\Psi_k(T) = 2M_k \sum_{i=1}^n [x_k(T) - x_T] \quad (13)$$

and x_k is the solution of the original system (4) with initial conditions (6).

Step 3: Calculate the value of the functional J_k for the obtained x_k and u_k .

Step 4: If $|J_k - J_{k-1}| \leq \varepsilon$ proceed to step 5, otherwise, set $k = k + 1$ and go back to step 2. (Here, $\varepsilon > 0$ is the required accuracy of the calculation).

Step 5: The found pair (x_k, u_k) is the optimal solution.

To automate the process of finding the optimal control, a program "Optim_Upr.m" was written in MATLAB. As a result of its execution, we obtain the analytical form of the original and conjugate systems of differential equations, the form of the Hamiltonian function for the UAV mathematical model (1)-(3):

$$H = 10 \cdot u_x^2 + 10 \cdot u_y^2 + (9.80 \cdot u_x - 9.80 \cdot \sin(O)) \cdot f_{i1} + (5.15 \cdot u_y - 9.80 \cdot \cos(O)) / V \cdot f_{i2} - 8.34 \cdot u_y / V / \cos(O) \cdot f_{i3} + V \cdot \cos(O) \cdot \cos(K) \cdot f_{i4} + V \cdot \sin(O) \cdot f_{i5} - 1 \cdot V \cdot \cos(O) \cdot \sin(K) \cdot f_{i6}$$

$$f_1 = 9.80 \cdot u_x - 9.80 \cdot \sin(O);$$

$$f_2 = (5.15 \cdot u_y - 9.80 \cdot \cos(O)) / V;$$

$$f_3 = -8.34 \cdot u_y / V / \cos(O);$$

$$f_4 = V \cdot \cos(O) \cdot \cos(K);$$

$$f_5 = V \cdot \sin(O);$$

$$f_6 = -1 \cdot V \cdot \cos(O) \cdot \sin(K);$$

$$fp_1 = (5.15 \cdot u_y - 9.80 \cdot \cos(O)) / V^2 \cdot f_{i2} - 8.34 \cdot u_y / V^2 / \cos(O) \cdot f_{i3} - 1 \cdot \cos(O) \cdot \cos(K) \cdot f_{i4} - 1 \cdot \sin(O) \cdot f_{i5} + \cos(O) \cdot \sin(K) \cdot f_{i6}$$

$$fp_2 = 9.80 \cdot \cos(O) \cdot f_{i1} - 9.80 \cdot \sin(O) / V \cdot f_{i2} + 8.34 \cdot u_y / V / \cos(O)^2 \cdot f_{i3} \cdot \sin(O) + V \cdot \sin(O) \cdot \cos(K) \cdot f_{i4} - 1 \cdot V \cdot \cos(O) \cdot f_{i5} - 1 \cdot V \cdot \sin(O) \cdot \sin(K) \cdot f_{i6}$$

$$fp_3 = V \cdot \cos(O) \cdot \sin(K) \cdot f_{i4} + V \cdot \cos(O) \cdot \cos(K) \cdot f_{i6};$$

$$fp_4 = 0;$$

$$fp_5 = 0;$$

$$fp_6 = 0;$$

$$H_1 = -20 \cdot u_x - 9.80 \cdot f_{i1};$$

$$H_2 = -20 \cdot u_y - 5.15 / V \cdot f_{i2} + 8.34 / V / \cos(O) \cdot f_{i3};$$

Here f_1, \dots, f_6 is the view of the right side of the initial system of differential equations, fp_1, \dots, fp_6 is the view of the right side of the conjugate system.

The obtained results are transferred to a program written in Delphi, which performs numerical calculations to find the optimal control.

The results of the program are output to the file "rez.txt," a fragment of which is provided below:

```
T=1,00 nt=1000
-10,00<=U1<=10,00
-5,00<=U2<=5,00
x0 = 8,00;   = 1,00;   = 3,00;   = 5,00;   = 1,00;   = 3,00;
xk = 4,00;   = 0,50;   = 1,50;   = 2,50;   = 0,50;   = 1,50;
```

F1 ==	1009,53	11276,69	11276,69
F2 ==	1164,04	20148,99	10102,31
F3 ==	1191,48	40409,25	10874,49
F4 ==	1127,07	42853,26	5356,66
F5 ==	1250,00	184817,12	4551,07
F6 ==	1244,47	321606,47	3050,20

A total of 6 functionals $F1, \dots, F6$. were calculated. As can be seen from the last column, the difference between the specified and final points decreases.

Results and Discussion. Constructing the conjugate system of differential equations (11) for the original nonlinear system (1) is a rather labor-intensive process, especially when the dimensionality n increases, and is practically impossible for $n > 3$. Furthermore, when forming the Hamiltonian function, there is often a "human factor" involved, which does not guarantee the correctness of the analytical calculations. Therefore, the automation of verifying the conditions of the theorems becomes relevant.

To address this issue, it is recommended to use computer algebra systems (CAS), such as MATLAB [8-9]. These systems provide a wide range of tools for working with algebraic expressions, from simple operations like calculation and differentiation to more complex ones like series expansion and integration. The application of such systems is relevant in various industries, including the aerospace industry.

Numerical calculations showed correspondence with experimental data. The results are also saved in text files, allowing the visualization of UAV dynamics in the form of one-dimensional graphs using MATLAB, for which a special program was developed. Based on the presented theory, an application was created [10].

Conclusions. The development of unmanned aviation requires the creation of optimal control methods for dynamic systems, which is crucial for enhancing the efficiency of unmanned aerial vehicle (UAV) management. This study confirms the necessity of finding optimal solutions in the presence of nonlinear equations and control constraints.

The article proposes a mathematical model

of UAV dynamics described by a system of nonlinear differential equations. Several variants of the optimal control problem were solved with fixed and variable boundaries, as well as by using penalty functions and the gradient method to find optimal trajectories. The solution to the optimal control problem involves minimizing a functional under given constraints, which requires significant mathematical computations.

The application of a computer algebra system (MATLAB) enabled the automation of complex differential equation system calculations and minimized the human factor, which is important for increasing the accuracy of computations. Numerical calculations confirmed the correctness of the proposed theoretical model. The results showed consistency between calculated data and real experimental observations, indicating the applicability of the model for real UAV control systems.

The developed "Optim_Upr.m" program in MATLAB, along with the application created for visualizing the results, simplifies solving UAV dynamics control tasks and provides results in the form of text files and graphs. This opens up opportunities for the further application of these methods in real-world conditions.

The continued use and development of the proposed algorithms and software can significantly improve the efficiency of UAV control systems, enabling them to adapt to changing real-time conditions and be applied in various industries, including the aviation and space sectors.

Financing: *The work was carried out with the support of the Research Institute of Mathematics and Mechanics at Al-Farabi Kazakh National University*

References

1. Loginov A.A., Hvan A.A. Aktual'nost' ispol'zovaniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov// Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики. – 2015.-T.1.- S.704 -705.[in Russ.]
2. Husnutdinov T.D., Shherbakova A.V., Komarova P.A., Rublevskaja E.V., Reshetnikov A.Ju. Perspektivy ispol'zovaniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov v innovacionnyh proektah// Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики.- 2017.- T.3.- S.139-141. [in Russ.]
3. Lju Sh., Li., Tan C., Vu Sh., God'e Zh.-L. Razrabotka bespilotnyh transportnyh sredstv.- M.:DMK Press.- 2022.-246 s. ISBN 978-5-97060-969-9. [in Russ.]
4. Avgustov L.I i dr. Navigacija letatel'nyh apparatov v okolozemnom prostranstve. – M.: OOO «Nauchtehlitizdat», 2015. -592s. ISBN 978-5-93728-146-3. [in Russ.]
5. Berns V.A., Dolgoplov A.V. i dr. Jeksperimental'nyj modal'nyj analiz letatel'nyh apparatov. – Novosibirsk: NGTU, 2023. – 328 s. ISBN 978-5-7782-3209-9[in Russ.]
6. Tang Than' Lam Sistemnyj analiz i optimizacija rezhimov poleta dlja upravlenija letatel'nym apparatom // Avtoref. disser. kand. tehn. nauk, spec. 05.13.01, Moskva, 2015. – 155 s. [in Russ.]
7. Mazakova A., Jomartova Sh., Vfzakov T., Shormanov., Amirkhanov B. Controllability of an unmanned aerial vehicle.// 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON) - C.1-5. DOI 10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830244
8. Smolencev N.K. MatLAB. Programirovanie na Visual C#, Borland JBuilder, VBA. – M.: DMK Press, 2009. – 464s.
9. D'jakonov V., Abramenkova I. MATLAB. Obrabotka signalov i izobrazhenij. Special'nyj spravocnik. – SPb.: Piter, 2002. - 608 s. ISBN 5-318-00667-1.
10. A.C. № 45572 ot 05.10.2024. Mazakova A.T., Dzhomartova S.A., Mazakov T.Ja. Opredelenie optimal'nogo upravlenija BPLA. Komp'juternaja programma

Information about the authors

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

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

Mazakov T.Zh. – Doctor of Physical and mathematical sciences, professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Tokenov G.Ch. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: gumyrbektoike@mail.ru;

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

Сведения об авторах

Мазакова А.Т. – докторант Казахского национального университета им.аль-Фараби, e-mail: aigerym97@mail.ru;

Джомартова Ш.А. - доктор технических наук, доцент, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: jomartova@mail.ru;

Мазаков Т.Ж. – доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: tmazakov@mail.ru;

Тойкенов Г.Ч. - кандидат физико-математических наук, доцент, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: gumyrbektoike@mail.ru;

Әлиасқар М.С. - докторант Казахского национального университета им.аль-Фараби, Алматы, Казахстан,e-mail: m.alyasqar@gmail.ru

ANALYSIS OF REAL-WORLD AND SIMULATION MODELS AND ALGORITHMS FOR DETECTING ATTACKS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

^{1,2}Y. Mardenov ✉, ³Zh. Iztaev, ³Hu Wen-Tsen, ^{1,2}D. Mardenova, ^{1,2}D. Baumuratova

¹International Science Complex "Astana", Astana, Kazakhstan,

²Astana International University, Astana, Kazakhstan,

³M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan

✉Корреспондент-автор: emardenov@gmail.com

Presented are real-world and simulation models, methods, and tools for simulating attacks on Wireless Sensor Networks (WSNs) intended for use in network vulnerability research. A comparative analysis was conducted to identify their advantages and disadvantages. The research demonstrated that integrating real-world and simulation approaches contributes to increased accuracy and reliability in attack detection. Recommendations are proposed for developing flexible and scalable simulation models, improving the efficiency of attack detection algorithms, and regularly updating models in accordance with changing WSN operating conditions and emerging threats.

Keywords: WSN, Real-world models, Simulation models, WSN attack detection, Attack detection algorithms, Comparative analysis of detection tools, Integration of detection methods, Network security.

АНАЛИЗ НАТУРНЫХ И ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ВЫЯВЛЕНИЯ АТАК БСС

^{1,2}Е. Марденов ✉, ³Ж. Изтаев, ³Ху Вен-Цен, ^{1,2}Д. Марденова, ^{1,2}Д. Баумуратова

¹Международный научный комплекс «Астана», Астана, Казахстан,

²Международный университет «Астана», Астана, Казахстан,

³ Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,

e-mail: emardenov@gmail.com

В данной статье представлен анализ натуральных и имитационных моделей и алгоритмов выявления атак на беспроводные сенсорные сети (БСС). Описаны разработанные натурные и имитационные модели, методы и инструменты для имитации атак, а также результаты экспериментальных исследований. Сравнительный анализ выявляет преимущества и недостатки каждого подхода, подчеркивая необходимость интеграции натуральных и имитационных методов для достижения наибольшей точности и надежности в обнаружении атак. В статье предложены рекомендации по развитию гибких и масштабируемых имитационных моделей, улучшению алгоритмов обнаружения атак и регулярному обновлению моделей в соответствии с изменяющимися условиями и угрозами. Результаты исследования подчеркивают важность комбинированного использования натуральных и имитационных подходов для повышения уровня безопасности БСС.

Ключевые слова: Беспроводные сенсорные сети (БСС), Натурные модели, Имитационные модели, Выявление атак, Алгоритмы обнаружения, Сравнительный анализ, Интеграция методов, Безопасность сетей

СЫМСЫЗ СЕНСОРЛЫҚ ЖЕЛІЛЕРДІҢ ТАБИҒИ ЖӘНЕ СИМУЛЯЦИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕР МЕН ШАРУАЛДАРДЫ АНЫҚТАУ АЛГОРИТМДЕРІН ТАЛДАУ

^{1,2}Е. Марденов✉, ³Ж. Изтаев, ³Ху Вэн-Цен, ^{1,2}Д. Марденова, ^{1,2}Д. Баумуратова

¹ «Астана» халықаралық ғылыми кешені, Астана, Қазақстан,

² Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан,

³ М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан,

e-mail: emardenov@gmail.com

Бұл мақалада сымсыз сенсорлық желілерге шабуылдарды анықтаудың табиғи және имитациялық модельдері мен алгоритмдерін талдау ұсынылған. Әзірленген табиғи және имитациялық модельдер, шабуылдарды модельдеу әдістері мен құралдары және эксперименттік зерттеулердің нәтижелері сипатталған. Салыстырмалы талдау шабуылдарды анықтауда ең жоғары дәлдік пен сенімділікке қол жеткізу үшін табиғи және имитациялық әдістерді біріктіру қажеттілігін көрсете отырып, әрбір тәсілдің артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтайды. Мақалада икемді және масштабталатын модельдеу модельдерін дамыту, шабуылдарды анықтау алгоритмдерін жақсарту және өзгеретін жағдайлар мен қауіптерге сәйкес модельдерді үнемі жаңарту бойынша ұсыныстар берілген. Зерттеу нәтижелері қауіпсіздік деңгейін жақсарту үшін табиғи және имитациялық тәсілдерді біріктіріп қолданудың маңыздылығын көрсетеді сымсыз сенсорлық желілер.

Түйін сөздер: Сымсыз сенсорлық желілер, табиғи модельдер, модельдеу модельдері, шабуылдарды анықтау, анықтау алгоритмдері, салыстырмалы талдау, әдістерді біріктіру, желі қауіпсіздігі

Introduction. Wireless Sensor Networks frameworks.

(WSNs) are widely and comprehensively utilized, playing a crucial role in addressing various practical tasks in military, industrial, and domestic spheres. WSNs represent a multifunctional communication foundation of cyber-physical systems with artificial intelligence elements, providing connectivity between various sensor devices and systems that can collect, process, and transmit environmental data in real-time. This foundation enables effective automatic monitoring and control of various processes and objects over extensive and hard-to-reach areas [1, 2].

However, the use of WSNs is associated with certain risks due to their security vulnerabilities. Attacks by malicious actors on such networks can lead to serious consequences, including data interception, tampering, and disruption of the functionality of technical equipment, particularly sensor devices that are fundamental elements of WSNs. Consequently, there is increasing importance in developing effective measures to counter potential threats within WSN security

A critical measure to combat these threats is the development of efficient methods for detecting, recognizing, and preventing network attacks. Specifically, analytical and simulation models of attacker actions on WSNs allow for the study of processes within WSNs induced by these attacks. Such models are based on mathematical and statistical descriptions of attacker and defender behaviors using real network data, parameters, and characteristics. They enable the creation of virtual environments for comprehensive simulation of WSNs, including the operation of sensor nodes, communication processes between nodes over radio channels, data reception and transmission, and routing [1, 3, 4].

This study aims to conduct testing and comparative analysis of natural and simulation models of attacks on WSNs, attack detection algorithms, and to develop recommendations for their effective implementation.

Materials and methods. *Analytical review of literary sources on the research issue.*

There are several different types of attacks that can occur in WSNs.

Threats to confidentiality involve interception and observation, where attackers intercept data or analyze traffic to obtain confidential information. Threats to integrity are associated with data modification, source impersonation, message replay, and message denial, which lead to data distortion and incorrect network operation. Attackers can alter messages, spoof sources, replay intercepted data, or deny sending/receiving messages. Availability threats aim to disrupt message delivery, causing network service denial. These attacks include Denial of Service (DoS), node capture, and resource depletion attacks, leading to node overload or network disconnection. Such attacks can severely disrupt network operation, highlighting the importance of protecting against them. [2, 4, 5]

The paper presents [6] a new intrusion detection model for WSNs using fuzzy neural networks and feedforward neural networks. Experimental results show that the proposed model achieves detection rates averaging 97.8% with maximum detection accuracy of 98.8%. Evaluations were compared against benchmark models based on support vector machines (SVM), decision trees (DT), and random forest (RF) models.

Authors [7] introduced detection of multiple attacks in wireless sensor networks using artificial neural networks. The dataset is split into training and testing using a multi-layer perceptron artificial neural network to detect ten classes of attacks, including DoS attacks. Research using benchmark datasets UNSW-NB, WSN-DS, NSL-KDD, and CICIDS2018 showed that the proposed system achieves an average detection

In article [8], the use of spatial information for detecting and localizing multiple attacks across single and multiple nodes is presented. A scalable and energy-efficient anomaly detection mechanism based on clusters (SEECAD) is described for

detecting DoS attacks without key management schemes to enhance network lifespan. Detection speed, false alarm rate, packet delivery ratio, overhead costs, energy consumption, and average packet delay are various performance metrics used to evaluate network performance.

In [9], an enhanced high-performance secure routing protocol based on clustering is proposed. A key feature of this protocol is its consideration of aspects such as energy consumption, packet reduction, congestion management, encrypted data transmission, and monitoring of malicious nodes to improve data management quality. To demonstrate the feasibility of the proposed method, performance metrics such as ransomware attack detection level, ergodic residual energy per round, early clone attack detection, throughput maximization, delay, maximum throughput, and network lifespan maximization were used.

The works [10] conducted modeling to demonstrate that the proposed EdDSA-XOR functionality reduces time and energy costs by 0.13% and 0.07% respectively, compared to other methods. Node authentication in the network was tested against "man-in-the-middle" attacks.

The paper proposes [11] an effective method for detecting black hole and Sybil attacks using the Adaptive Taylor Sail (Adaptive Taylor-SFO) algorithm. The BSS nodes are modeled in the network, followed by routing using Adaptive Taylor-SFO. The router was developed by integrating the Adaptive concept with the Taylor series and the Sail Fish optimizer (SFO) to select the optimal route considering adaptability metrics such as delay, energy, and distance. Black hole and Sybil attack detection is performed by the Deep stacked automatic encoder. Thus, the proposed system effectively classifies normal, black hole, and Sybil attacks. The analysis of the reviewed works made it possible to determine the most common types of attacks on WSNs (Table 1), the mechanisms of their impact, possible consequences and methods of mitigating the consequences.

Table 1 - Most common attacks on WSN

№	Attack name	Mechanism of action	Consequences	Mitigation Strategies
1	Routing attack [6]	Routing attacks involve manipulating routing mechanisms to redirect or block data flows. Attackers exploit vulnerabilities across various layers of the network protocol stack. Examples include black hole attacks, where malicious nodes discard received data, and wormhole attacks, where attackers create shortcuts between remote nodes.	Data loss. Network segmentation. Resource exhaustion.	Secure routing protocols. Anomaly detection. Cooperative verification. Hop count verification. Location verification.
2	The man in the middle attack [10]	Man-in-the-middle attack involves an attacker secretly intercepting and relaying messages between two communicating nodes without their knowledge. The attacker can manipulate the contents of the messages or simply eavesdrop on them. Man-in-the-middle attacks exploit the absence of secure communication channels and can occur at various protocol levels, including application, transport, and network layers.	Data falsification: Unauthorized access leading to breach of confidentiality	Encryption. Public Key Infrastructure (PKI). Certificate revocation. Timestamps and one-time passwords. Intrusion detection systems.
3	Sibyl [12]	Sybil attack involves creating a network of malicious nodes that impersonate legitimate nodes. The attacker's goal is to inject false information or disrupt network communication. These attacks can undermine data accuracy, routing efficiency, and overall network functionality.	Data integrity Routing manipulation Resource exhaustion	Behavioral analysis Trust-based systems Physical layer measurements Reputation mechanisms Cryptographic methods
4	Eavesdropping [13]	In an eavesdropping attack, an attacker is placed within the range of two or more sensor nodes using the transmission of unencrypted or weakly encrypted data. The attacker passively intercepts data packets without changing the functionality of the network. Eavesdropping can occur at various levels of the communications stack, from the physical layer to the application layer.	- Data confidentiality - Data integrity - Network mapping	- Encryption - Secure key exchange - Frequency hopping - Intrusion detection - Secure protocols
5	Denial of Service (DoS) [14,15]	A DoS attack exploits vulnerabilities in WSNs to reduce their performance or even disable them. Attackers employ various methods such as flooding the network with excessive traffic or exploiting protocol vulnerabilities. In the context of WSNs, attacks can target nodes, communication channels, or the sink node responsible for aggregating data.	Data loss Resource depletion Network partitioning Delayed responses	Intrusion detection Rate limiting Traffic filtering Energy consumption management Collaborative defense

Empirical models and attack detection algorithms.

Description of the empirical models used for attack detection

Table 2 - Full-scale experiments to detect attacks and their results

No	Name	Description	Results
1.	jamming attack	Nodes of the network were deployed in an open space with various obstacles. A jamming attack was initiated using a powerful radio transmitter, creating interference within a specific frequency range.	It was found that the jamming attack significantly reduces signal strength and increases packet loss frequency. The detection system was able to identify the attack based on signal strength and packet loss analysis, achieving a detection accuracy of 92%.
2.	resource exhaustion attack	Nodes in the experiment were programmed to perform energy-intensive tasks. The attacker sent a large number of false requests to the nodes to accelerate their battery discharge.	Nodes with depleted resources ceased normal operation. The detection model based on energy consumption monitoring successfully identified the attack with 87% accuracy, enabling timely network protection measures to be implemented.
3.	replay attack	The experiment involved nodes equipped with built-in authentication mechanisms. The attacker retransmitted previously intercepted legitimate messages.	The detection system based on timestamps and authentication algorithms successfully identified repeated messages with 95% accuracy, preventing the execution of false commands.

Table 3 - Evaluation of the effectiveness of full-scale models and algorithms

accuracy	detection time
The ability of the model to correctly identify attacks and minimize false positives was evaluated in the conducted experiments. Accuracy ranged from 87% to 95%, depending on the type of attack and the algorithm applied.	The time required to identify an attack after its onset. Natural models demonstrated the ability to detect attacks in real time, which is critical for preventing damage.
resource consumption	adaptability
The volume of computational and energy resources required for algorithm operation. Efficient algorithms minimize resource consumption, which is particularly crucial for sensor nodes with limited batteries.	The ability of the model and algorithms to adapt to changes in the environment and new types of attacks. Natural models have demonstrated good adaptability when new nodes are added or when the network topology changes.

Natural models for detecting attacks in WSNs involve physically implemented networks where nodes and sensors are deployed in real operational conditions. These models utilize real devices such as microcontrollers, radio modules, and sensors that interact within realistic environmental settings.

The primary advantage of natural models lies in their ability to accurately reproduce real network operation scenarios, including potential external interferences and physical attacks.

Research on natural models for attack detection in wireless sensor networks includes functional and quantitative characteristics. Attack detection methods are categorized into signature-based, anomaly-based, and hybrid approaches, covering attacks on availability, confidentiality, integrity, and authentication. Hardware and network characteristics of sensors and nodes, data processing algorithms, and monitoring systems play a crucial role. Quantitative metrics include detection accuracy, detection time, energy consumption, throughput, delay, and scalability.

For instance, platforms like TinyOS and Contiki are used to test intrusion detection systems, achieving 95% accuracy with low false positive rates. Machine learning-based systems such as K-means and SVM can achieve classification accuracies up to 98%. Distributed detection methods include autonomous algorithms that depend on node density and algorithm complexity [15, 16]. Table 2 presents empirical experiments on attack detection and their outcomes.

The effectiveness of full-scale models and attack detection algorithms is assessed based on several key parameters (Table 3)

Thus, natural models and intrusion detection algorithms in WLANs are effective tools for studying and protecting networks, ensuring high accuracy and timely detection of attacks in real operational conditions.

Imitative models and intrusion detection algorithms

Description of Developed Simulation Models. Simulation models are software tools designed to replicate the operations of Wireless Sensor Networks (WSNs) and simulate various attack scenarios in a controlled environment. Within the scope of the conducted research, simulation models were tested that accurately reproduce the behavior of sensor nodes, communication protocols, and interactions with the external environment. These models are based on the following principles:

1. Multi-layered architecture of the model: The simulation model includes physical, data link, network, and application layers, enabling detailed reproduction of all aspects of Wireless Sensor Network (WSN) operation.

2. Network topology modeling: Supports various topologies such as mesh, star, and tree, allowing exploration of how topology affects resilience to attacks.

3. Parameter flexibility: The model allows configuration of node parameters such as transmitter power, data transmission rate, and energy consumption, crucial for investigating different attack scenarios.

All simulation models are built using diverse mathematical and computational methods. These models facilitate testing and analyzing network behavior under attack, evaluating detection accuracy, and justifying the realism of simulated conditions (Table-4).

Model adequacy assessment involves comparing simulation results with real-world data, including topology parameters, traffic intensity, and attack frequency. A model is considered adequate if its behavior does not statistically differ from real data, often verified using tests like the Kolmogorov-Smirnov test. An example application of such models could include testing intrusion detection systems on the TinyOS platform, achieving a detection accuracy of 95% with a false positive rate of less than 2%, utilizing a hybrid approach to enhance accuracy and minimize energy consumption.

Methods and tools for simulating attacks on wireless sensor networks

For implementing simulation models, a number of modern tools and methods were utilized to ensure high accuracy and scalability of the research. The key tools include:

1. NS-3 (Network Simulator 3): A powerful tool for network simulation that allows reproduction of a wide range of protocols and attack scenarios on WLANs. NS-3 provides detailed modeling of node behavior and interactions between nodes.

2. MATLAB/Simulink: Used for mathematical

modeling and analysis of attack detection algorithms. MATLAB facilitates the development and testing of complex algorithms, as well as the analysis of data obtained from simulations.

3. Omnet++: A tool for modeling and simulating networks, offering high flexibility in network parameter configuration and attack scenarios. Omnet++ supports extensibility, enabling

integration of custom models and algorithms.

These tools collectively support comprehensive modeling, simulation, and analysis of wireless sensor networks (WSNs), enabling researchers to evaluate the performance and effectiveness of various security mechanisms against different types of attacks.

Table 4 - Composition and structure of models

No	Model	Composition and structure of models	Mathematical description
1	Network layer	<i>Graph model:</i> Sensors and nodes are represented as a graph $G(V, E)$, where V - a set of vertices (nodes), and E - many edges (communication channels). <i>Topology:</i> The parameters of the network topology are defined, including the distance between nodes, node density, and network type (e.g., star, tree, mesh network).	$G(V, E) = \{(v_i, v_j) \mid v_i, v_j \in V, e_{ij} \in E\}$ (1) where $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ - many nodes, $E = \{e_{ij}\}$ - many communication channels.
2	Traffic model	<i>Data flow:</i> The distribution of traffic between nodes is described. This is achieved using probabilistic models such as Poisson distribution or Markov models.	$\lambda_{ij} = \text{Rate}(v_i \rightarrow v_j)$ (2) where λ_{ij} - traffic intensity between nodes v_i and v_j , which may follow a Poisson distribution: (3)
3	Attack model	<i>Types of attacks:</i> Models are defined for various types of attacks, such as DoS attacks, data interception attacks, and data integrity attacks. <i>Attacker behavior:</i> The strategy of the attacker is determined, including the frequency and intensity of attacks.	(4) where d - distance to target, θ - interception angle.
4	Detection model	<i>Methods:</i> Implementation includes detection algorithms such as signature-based, anomaly-based, and hybrid methods. <i>Machine learning algorithms:</i> Utilized for traffic classification, such as K-means, SVM, neural networks.	Anomalous method: (5) where x_i - measured value, μ_i - average value, w_i - weight coefficient. Machine learning algorithms: K-means: (5) where J - loss function, k - number of clusters, $x_j^{(i)}$ - data points, μ_i - cluster centroids

Results and discussion. Results of simulation experiments and their analysis. Within the

framework of conducted simulation experiments, various types of attacks on WLANs were simulated, including jamming attacks, resource exhaustion attacks, replay attacks, and spoofing attacks. The results of the experiments enabled a detailed analysis of the effectiveness of the proposed models and attack detection algorithms (Table 5).

Analysis of the results showed that the developed simulation models and algorithms are highly effective in detecting attacks on WSNs. The experiments conducted allowed for a detailed study of network behavior under various types of attacks and proposed algorithms that demonstrate high accuracy and promptness in detection. The results confirm the feasibility of using simulation models in the research and development of protection systems for wireless sensor networks.

Table 5 - Composition and structure of models

№	Attack	Description of the experiment	Results
1.	jamming attack	An experiment to simulate a jamming attack was conducted using a powerful transmitter in Omnet++, a platform for modeling network systems. The experiment involved creating a wireless sensor network of 100 nodes with a random topology and a transmission radius of 50 meters. The experiment consisted of three stages: network initialization without attack, introduction of the jamming transmitter, and data collection. The collected data included received signal strength indicator (RSSI), packet loss, and transmission delay, amounting to approximately 10,000 records. Data processing was performed using statistical methods and machine learning algorithms such as K-means and SVM. The data processing methodology included data filtering, analysis of signal strength levels, and anomaly classification [17, 18].	The results showed that the jamming attack significantly reduces communication quality and increases latency. Simulation algorithms were able to detect the attack with 94% accuracy by analyzing signal strength and packet loss rates. The experiment demonstrated the possibility of using this technique in real wireless sensor networks.
2.	resource exhaustion attack	A simulation experiment for a resource exhaustion attack was conducted using the NS-3 network simulator. The experimental setup included a wireless sensor network comprising 50 nodes, each equipped with a limited battery. The experiment was planned by creating the network, setting battery parameters, and launching a series of attacks involving sending a large number of false requests to the nodes. During the experiment, data on energy consumption, node response time, and failure rate were collected. Approximately 5000 data records were gathered, covering all stages of the attack. Data processing was carried out using an energy consumption monitoring methodology developed and described in [19]. This methodology included data filtering, analysis of energy consumption time series, and detection of deviations from normal behavior.	Algorithms based on this methodology were able to identify abnormal behavior with an accuracy of 89% and an average attack detection time of 2.3 seconds. The effectiveness of the methodology was confirmed by its high accuracy and rapid detection of attacks. The experiment demonstrated that the proposed methodology is effective for application in real-world conditions of wireless sensor networks.

No	Attack	Description of the experiment	Results
3.	replay attack	Experimental studies aimed at examining replay attacks were conducted using a model created in the Simulink environment. In this experiment, the model simulated the repeated transmission of intercepted messages, mimicking a scenario where an attacker could re-execute previously executed commands. The experimental setup consisted of a network model including several nodes and data transmission mechanisms configured to implement replay attacks. The experiment planning involved configuring model parameters, defining attack characteristics, and selecting detection methods. During the experiment, data related to message timestamps, as well as parameters of authentication and integrity verification methods, were collected. The total amount of gathered data was about 2,000 records, covering various attack scenarios and the system's responses to them. The data were processed using algorithms based on analyzing message timestamps and authentication methods. The data processing methodology included filtering out repeated messages and verifying their compliance with expected time intervals [19].	The experimental results showed that algorithms based on timestamps and authentication methods successfully detected replayed messages with an accuracy of 97%, significantly reducing the risk of executing false commands and enhancing the effectiveness of the replay attack defense system.
4.	spoofing	Experimental studies focused on spoofing attacks were conducted using Simulink software. The experiment was designed by creating scenarios in which an attacker sent false messages, pretending to be legitimate network nodes, with the aim of infiltrating the system. Parameters of the transmitted messages, such as node identifier, message content, and timestamp, were recorded for data collection. The total amount of data collected was approximately 3,000 records, covering various attack scenarios and network responses. For data analysis, algorithms for node identity verification and behavior analysis developed by the experiment's authors were applied. The data processing methodology included the identification of anomalous nodes, comparison of their behavior with samples of normal functioning, and detection of deviations [20].	As a result of the experiment, the model was able to effectively detect spoofing attacks with 92% accuracy. The system's response time to detect the attack was 1.8 seconds, demonstrating the high reactivity and efficiency of the developed algorithms. The obtained results confirm the effectiveness of the proposed spoofing attack protection methodology and its readiness for practical application in real network systems.

Comparative analysis of full-scale and simulation approaches.

Methodology for Comparing Physical and Simulation Models.

To conduct a comparative analysis of physical and simulation models, the following methodological steps were developed and applied:

Selection of Representative Attack Scenarios: Typical attack scenarios were chosen, such as jamming, resource exhaustion attacks, replay attacks, and spoofing. These scenarios cover a wide range of threats to wireless sensor networks (WSNs).

Construction of Physical Models: The implementation of physical models involved

deploying sensor nodes in real operational conditions. Various network topologies, such as mesh and star, were used to ensure a diversity of conditions. Real devices were subjected to attack impacts to collect data on network behavior.

Creation of Simulation Models: Simulation models were developed using tools like NS-3 and Omnet++, allowing for accurate reproduction of the conditions and behavior of sensor nodes, as well as

attack impacts. These models were configured to match the conditions of the physical experiments.

Comparison of Physical and Simulation Models: The comparison was conducted based on several criteria, including attack detection accuracy, response time, resource consumption, and adaptability to changes in network conditions (Table 6).

Table 6 - Composition and structure of models

accuracy	detection time
The model's ability to correctly identify attacks and minimize false positives. Accuracy was measured as the ratio of correctly detected attacks to the total number of attacks.	The time required to identify an attack after it has begun. Fast detection is critical to minimizing the damage from attacks.
resource consumption	adaptability
The amount of computing and energy resources required to run detection algorithms. This criterion is especially important for WSN nodes with limited batteries and computing power.	The ability of the model and algorithms to adapt to changes in network conditions and new types of attacks. This includes the model's ability to work across different network topologies and load changes.

Table 7 - Results of comparative analysis, identified advantages and disadvantages of models

	Advantages:	Flaws:
Full-scale models	<ul style="list-style-type: none"> - Highly realistic: Full-scale models accurately reflect actual operating conditions, including physical disturbances and unforeseen factors. - Relevance of data: Data collected in field experiments are direct results of the operation of real devices and protocols. 	<ul style="list-style-type: none"> - High costs: Deploying and maintaining full-scale models requires significant financial and time resources. - Limited scalability: It is difficult and expensive to scale up field experiments to large networks or different scenarios.
Simulation models	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibility and scalability: Simulation models are easily customized and scalable for different scenarios and network topologies. - Low costs: Simulation experiments are carried out in a software environment, which significantly reduces costs compared to full-scale experiments. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limited realism: Simulation models may not fully account for all real-world physical and environmental factors, which may lead to variations in results. - Dependence on model accuracy: The effectiveness of simulation models is highly dependent on the accuracy of reproducing real-world conditions and network behavior.

In general, both approaches have their strengths and weaknesses, but their combination can provide the most complete and reliable analysis of attacks on WSNs. Full-scale models provide high accuracy and data relevance, while simulation models offer flexibility and cost-effectiveness. The optimal solution is to use full-scale experiments to verify and calibrate simulation models, which allows you to combine the advantages of both approaches.

Conclusions. Analysis of full-scale and simulation models and algorithms for identifying attacks on WSNs shows that both approaches have their own unique advantages and disadvantages. Full-scale models provide highly accurate and up-to-date data because they reproduce real-life network operating conditions. However, their use is associated with high costs and limited scalability. Simulation models, in contrast, offer flexibility and cost-effectiveness, allowing easy adjustment of parameters and scale-up of experiments, but may not fully account for all real-world physical factors.

Based on the presented data, we can conclude that the combined use of full-scale and simulation

approaches is optimal in the context of ensuring the security of wireless sensor networks. The integration of natural and simulation methods makes it possible to jointly use their advantages, ensuring high accuracy and reliability of attack detection algorithms. Using field data to calibrate and verify simulation models plays an important role in achieving high accuracy in network vulnerability analysis. Recommendations for improving models and algorithms, including developing flexible and scalable simulation models, improving attack detection algorithms, and regularly updating models, are aimed at increasing the effectiveness of the attack detection system. This combined use of methods and the development of infrastructure for field experiments seem to be the most effective ways to improve the security of wireless sensor networks in the face of rapidly changing threats. This work by the staff of the International Scientific Complex "Astana" is carried out with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19680345).

References

1. Lei Zou, Zidong Wang, Bo Shen, Hongli Dong, Guoping Lu, Encrypted Finite-Horizon Energy-to-Peak State Estimation for Time-Varying Systems Under Eavesdropping Attacks: Tackling Secrecy Capacity, *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. -2023. Vol. 10(4). -P. 985-996. DOI 10.1109/JAS.2023.123393.
2. A. Adamova, T. Zhukabayeva and Y. Mardenov Machine Learning in Action: An Analysis of its Application for Fault Detection in Wireless Sensor Networks // 2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), Astana, Kazakhstan, 2023, P.506-511. DOI 10.1109/SIST 58284.2023.10223548.
3. G.P.S. Kumar, J. R. R. Kumar and S. R. T, Design of Secure Communication Methodologies for WSN Assisted IoT Applications, 2022 2nd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON), Ravet, India.// -2022. -P.1-5. DOI 10.1109/ASIANCON55314.2022.9908931.
4. S.A.H. Antar et al. Classification of Energy Saving Techniques for IoT-based Heterogeneous. Wireless Nodes // *Procedia Comput. Sci.* -2020.- Vol.171. - P. 2590-2599
5. Kalaivanan Karunanithy et al. Cluster-tree based energy efficient data gathering protocol for industrial automation using WSNs and IoT// *J. Indust. In format. Integrat.*// -2020.- Vol.19. DOI 10.1016/j.jii. 2020.100156
6. Ezhilarasi, M., Gnanaprasanambikai, L., Kousalya, A. et al. A novel implementation of routing attack detection scheme by using fuzzy and feed-forward neural networks // *Soft Comput.* -2023. Vol. 27.- P. 4157-4168. DOI 10.1007/s00500-022-06915-1
7. J. Panda, and S. Indu Localization and Detection of Multiple Attacks in Wireless Sensor Networks Using

- Artificial Neural Network// Wireless Communications and Mobile Computing.–2023.–Vol. 7. - P.1-29. DOI 10.1155/2023/2744706
8. Premkumar, M., Ashokkumar, S.R., Jeevanantham, V. et al. Scalable and Energy Efficient Cluster Based Anomaly Detection Against Denial of Service Attacks in Wireless Sensor Networks.// Wireless Pers Commun. -2023.- Vol.129.- P.2669-2691.DOI 10.1007/s11277-023-10252-3
9. Roberts M.K., Ramasamy P. An improved high performance clustering based routing protocol for wireless sensor networks in IoT// Telecommun Syst. -2023.- Vol. 82.- P. 45-59. DOI 10.1007/s11235-022-00968-1
10. Yuvaraj, N., Raja, R.A., Karthikeyan, T. et al. Improved Authentication in Secured Multicast Wireless Sensor Network (MWSN) Using Opposition Frog Leaping Algorithm to Resist Man-in-Middle Attack// Wireless Pers Commun. -2022.- Vol. 123. - P. 71715-1731 DOI 10.1007/s11277-021-09209-1
11. M. Kumar and J. Ali, Adaptive Taylor-Sail Fish Optimization based deep Learning for Detection of Black Hole and Sybil Attack in Wireless Sensor Network// International Conference on Sustainable Computing and Data Communication Systems (ICSCDS), Erode, India. -2023. - P. 1237-1244. DOI 10.1109/ICSCDS56580.2023.10104946.
12. Orman, A., Üstün, Y. & Dener, M. Detailed analysis of sybil attack in wireless sensor networks // International Journal of Sustainable Engineering and Technology.-2023.-Vol.7(1)-P.41-54. <https://dergipark.org.tr/en/pub/usmtd/issue/78577/1305047>
13. Y. Liu, X. Ma, L. Shu, G. P. Hancke, and A. M. Abu-Mahfouz, From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: current status, enabling technologies, and research challenges// IEEE Transactions on Industrial Informatics. -2021.-Vol. 17(6)- P. 4322-4334. DOI 10.1109/TII.2020.3003910
14. A. Williams, P. Suler, J. Vrbka Business process optimization, cognitive decision-making algorithms, and artificial intelligence data-driven internet of things systems in sustainable smart manufacturing//Journal of Self-Governance and Management Economics. -2020. Vol.8(4).-P. 39-48. DOI 10.22381/JSME8420204
15. Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, Hari Balakrishnan. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks//In Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on system sciences. -2000. - P. 10.
16. Ibrahim Alrashdi, Ali Alqazzaz, Raed Alharthi, Esam Aloufi, Mohamed A Zohdy Hua Ming. Fbad: Fog-based attack detection for iot healthcare in smart cities //In 2019 IEEE 10th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON). -2019. –P. 515-522. DOI 10.1109/UEMCON47517.2019.8992963
17. Chen M., Liu W., Zhang, N., Li J., Ren Y., Yi M., Liu A. GPDS: A Multi-Agent Deep Reinforcement Learning Game for Anti-Jamming Secure Computing in MEC Network// Expert Syst. Appl. -2022.- Vol.210. DOI 10.1016/j.eswa.2022.118394
18. Abdullah, Manal et al. Energy Efficient Ensemble K-means and SVM for Wireless Sensor Network. International //Inter.J. of Computers and Technology. -2013.- Vol.11(9).- P. 3034-3042. DOI10.24297/ijct.v11i9.3409
19. Desnitsky, V.; Kotenko, I.; Zakoldaev, D. Evaluation of Resource Exhaustion Attacks against Wireless Mobile Devices// Electronics. -2019. Vol. 8(5). DOI 10.3390/electronics8050500
20. Chhimwal, Mrs & Rawat, Deepesh. (2021). Comparison between Different Wireless Sensor Simulation Tools// IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering. -2021. Vol.5(2).-P.54-60.

Information about the authors

E. Mardenov - Director of the Department of Information Technology at Astana International University,

Research Fellow at Astana International Scientific Complex, Astana, Kazakhstan, e-mail: emardenov@gmail.com

Zh. Iztaev - Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor at M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: Zhalgasbek71@mail.ru;

Hu Wen-Cen - Professor, M. Auezov South Kazakhstan State University, Leading Researcher at Astana International Scientific Complex, Astana, Kazakhstan, e-mail: qbcbaba@bk.ru;

D. Mardenova - Lecturer at Astana International University, Junior Research Fellow at Astana International Scientific Complex, Astana, Kazakhstan. e-mail: mardenovadana@gmail.com;

D. Baumuratova - PhD, Senior Lecturer at Astana International University, Junior Research Fellow at Astana International Scientific Complex, Astana, Kazakhstan. e-mail: dilaram_baumuratova@aiu.edu.kz

Сведения об авторах

Е.Марденов - директор департамента информационных технологий Международного университета Астана, научный сотрудник Международного научного комплекса Астана, Астана, Казахстан, e-mail: emardenov@gmail.com;

Ж. Изтаев - Кандидат педагогических наук, доцент Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, Шымкент, Казахстан, e-mail: Zhalgasbek71@mail.ru;

Ху Вен-Цен - профессор · Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауезова, ведущий научный сотрудник Международного научного комплекса Астана, Астана, Казахстан, e-mail: qbcbaba@bk.ru;

Д. Марденова - преподаватель Международного университета Астана, младший научный сотрудник Международного научного комплекса Астана, Астана, Казахстан, e-mail: mardenovadana@gmail.com;

Д. Баумуратова - PhD, старший преподаватель Международного университета Астана, младший научный сотрудник Международного научного комплекса Астана, Астана, Казахстан, e-mail: dilaram_baumuratova@aiu.edu.kz

РАЗРАБОТКА МИС СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ ДЛЯ ЗАПИСИ К МЕДИЦИНСКИМ СПЕЦИАЛИСТАМ

^{1,2,4}А.С. Сейтенов✉, ¹Т.К. Жукабаева, ³S. Al-Majeed, ⁴C. Wolff

¹ Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

²Astana IT University, Астана, Казахстан,

³Al Akhawayn University, Ифран, Марокко,

⁴Fachhochschule Dortmund, Дортмунд, Германия

✉Корреспондент-автор: altynbekss@gmail.com

Технологии телемедицины стремительно развиваются, предоставляя новые возможности удаленного медицинского обслуживания, особенно в условиях ограниченного доступа к медицинским учреждениям. Разработка Медицинской Информационной Системы (МИС) для телемедицины становится важной задачей, направленной на улучшение качества медицинских услуг, оптимизацию административных процессов и повышение доступности квалифицированной медицинской помощи для широкого круга пациентов, включая тех, кто проживает в отдаленных районах. В данной научной работе проведен детальный анализ для подбора среди существующих методов и технологий в этой области, а также предложены новые, инновационные подходы к решению актуальных проблем, связанных с внедрением МИС в практику. Результаты исследования могут быть полезны для разработчиков и внедренцев МИС, руководителей учреждений здравоохранения, а также для исследователей, занимающихся вопросами телемедицины и информационных технологий в здравоохранении. Предложенные подходы и рекомендации способствуют улучшению процессов предоставления медицинских услуг, повышению эффективности телемедицины в целом и улучшению взаимодействия между врачами и пациентами на всех уровнях медицинского обслуживания.

Ключевые слова: телемедицина, система телемедицины; удаленное медицинское обслуживание; медицинская информационная система; удаленная запись; электронный прием пациента; приложение.

ТЕЛЕМЕДИЦИНАЛЫҚ МАМАНДАРҒА ТІРКЕЛУ ҮШІН МАЖ ЖҮЙЕСІН ДАМЫТУ

^{1,2,4}А.С. Сейтенов✉, ¹Т.К. Жукабаева, ³S. Al-Majeed, ⁴C. Wolff

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

² Astana IT University, Астана, Қазақстан,

³Al Akhawayn University, Ифран, Марокко,

⁴Fachhochschule Dortmund, Дортмунд, Германия

e-mail: altynbekss@gmail.com

Телемедицина технологиялары тез дамып келеді, медициналық қызметтерге қашықтықтан қол жеткізудің жаңа мүмкіндіктерін ұсынады, әсіресе медициналық мекемелерге кіру шектеулі болған жағдайда. Телемедицина үшін Медициналық Ақпараттық Жүйенің (МАЖ) әзірлемесі медициналық

қызметтердің сапасын жақсартуға, әкімшілік процестерді оңтайландыруға және жоғары білікті медициналық көмекті кең ауқымды пациенттерге, соның ішінде шалғай аудандарда тұратындарға қолжетімділікті арттыруға бағытталған маңызды міндет болып табылады. Осы ғылыми жұмыста қазіргі уақытта қолданылып жүрген әдістер мен технологияларды талдау жүргізілді, сондай-ақ МАЖ-ді практикаға енгізу мәселелерін шешуге арналған жаңа, инновациялық тәсілдер ұсынылды. Зерттеу нәтижелері МАЖ әзірлеушілері мен енгізушілеріне, денсаулық сақтау мекемелерінің басшыларына, сондай-ақ телемедицина мен денсаулық сақтау ақпараттық технологиялары мәселелерімен айналысатын зерттеушілерге пайдалы болуы мүмкін. Ұсынылған тәсілдер мен ұсыныстар медициналық қызмет көрсету процестерін жақсартуға, телемедицина тиімділігін арттыруға және дәрігерлер мен пациенттер арасындағы өзара әрекеттесуді барлық медициналық қызмет көрсету деңгейлерінде жақсартуға ықпал етеді.

Түйін сөздер: телемедицина, телемедицина жүйесі, қашықтықтан медициналық қызмет көрсету, медициналық ақпараттық жүйе, қашықтықтан тіркеу, электронды пациент қабылдау, қосымша.

DEVELOPMENT OF MIS TELEMEDICINE SYSTEM FOR APPOINTMENT WITH MEDICAL SPECIALISTS

^{1,2,4}A.S. Seitenov✉, ¹T.K. Zhukabayeva, ³S. Al-Majeed, ⁴C. Wolff

¹ L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

² Astana IT University, Astana, Kazakhstan,

³ Al Akhawayn University, Ifrane, Morocco,

⁴ Fachhochschule Dortmund, Dortmund, Germany,

e-mail: altynbekss@gmail.com

Telemedicine technologies are rapidly evolving, providing new opportunities for remote medical care, especially in areas with limited access to medical facilities. Developing a Medical Information System (MIS) for telemedicine is becoming a crucial task aimed at improving the quality of medical services, optimizing administrative processes, and enhancing the availability of qualified medical care for a broad range of patients, including those living in remote areas. This research paper provides a detailed analysis of existing methods and technologies in this field and proposes new, innovative approaches to addressing the current challenges associated with implementing MIS in practice. The findings may be useful for MIS developers and implementers, healthcare facility managers, and researchers involved in telemedicine and healthcare information technology. The proposed approaches and recommendations contribute to improving medical service delivery processes, increasing the overall effectiveness of telemedicine, and enhancing interactions between doctors and patients at all levels of medical care.

Keywords: telemedicine, telemedicine system, remote medical service, medical information system, remote registration, electronic patient reception, application.

Введение. В последние годы телемедицина стала одним из наиболее быстро развивающихся направлений в области здравоохранения, предоставляя возможности удаленного медицинского обслуживания и консультаций. Разработка МИС (Медицинская информационная система) для телемедицины представляет собой важную задачу, поскольку такие системы обеспечивают управление медицинскими данными, улучшение качества обслуживания пациентов и оптимизацию административных процессов. Обоснование выбора данной темы основывается на опыте предшественников, которые подчеркивают необходимость интеграции информационных технологий

в медицину для повышения эффективности и доступности медицинских услуг [1, 2].

Актуальность разработки МИС для телемедицины определяется высоким интересом к инновационным методам предоставления медицинской помощи и глобальными тенденциями цифровизации здравоохранения. Пандемия COVID-19 значительно усилила потребность в удаленных медицинских услугах, что в свою очередь требует эффективных информационных систем для обеспечения качества и непрерывности медицинского обслуживания [2, 3]. Значимость данной темы заключается в развитии научного понимания принципов построения и функционирования МИС для телемедицины, а так же в непосредственном улучшении качества медицинских услуг и управлении ресурсами здравоохранения [3, 4].

Многие зарубежные исследования показывают, что эффективные системы регистрации пациентов и управления данными в телемедицине играют ключевую роль в обеспечении доступности и качества медицинских услуг. Например, исследования показывают, что использование телемедицины для управления хроническими заболеваниями, такими как диабет и гипертония, значительно улучшает показатели здоровья пациентов и снижает нагрузку на медицинские учреждения. Кроме того, современные цифровые системы, такие как электронные медицинские записи и телемедицинские консультации, способствуют более эффективному взаимодействию между пациентами и медицинскими специалистами, улучшая качество обслуживания и удовлетворенность пациентов [5, 6].

Цель данной научной работы состоит в разработке и представлении архитектуры и модели МИС системы для записи к специалистам, а также в анализе существующих технологий в этой области. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи: провести анализ произведенных исследований, определить сильные стороны существующих решений, а также предложить новые подходы к решению проблем.

Значение данной научной работы заключается в том, что ее результаты могут быть полезны

для разработчиков и внедренцев МИС, руководителей здравоохранения, а также для исследователей, занимающихся проблемами телемедицины и информационных технологий в здравоохранении. Предложенные подходы и рекомендации могут способствовать улучшению процессов предоставления медицинских услуг и повышению эффективности телемедицины в целом.

Материалы и методы. Разработка и внедрение медицинских информационных систем (МИС) в сфере телемедицины активно изучается в последние годы. Эти системы предназначены для улучшения результатов лечения пациентов, оптимизации процессов здравоохранения и более эффективного распределения ресурсов. В данном разделе рассмотрены основные направления и результаты исследований в этой области [5, 6].

Экосистема телемедицины подразумевает вовлечение использования информационных и коммуникационных технологий для упрощения предоставления медицинских услуг на расстоянии. Платформа данной технологий может состоять из следующих сервисов: дистанционная консультация, мониторинг состояния здоровья пациента, обмен медицинской информацией между специалистом и пациентом, а также между специалистами. Развитие телемедицины связано с необходимостью преодоления географических, социальных и экономических барьеров, что особенно актуально для удаленных и малонаселенных регионов [7, 8].

Исследования показывают, что МИС могут значительно улучшить координацию ухода и ускорить процессы принятия решений в здравоохранении. Системы, основанные на таких технологиях, как интернет вещей (IoT), искусственный интеллект (AI) и большие данные (Big Data), предлагают новые возможности для телемедицины, включая удаленный мониторинг пациентов, прогнозирование эпидемий и поддержку врачебных решений [8-10].

Внедрение телемедицины и МИС активно продвигалось в условиях пандемии COVID-19, что продемонстрировало их потенциал в условиях кризиса. Современные технологии, такие как об-

лачные серверы, позволяют передавать большие объемы данных с минимальной задержкой, что является критически важным для развития телемедицины [8,9].

Кроме того, исследования показывают, что несмотря на значительные преимущества, внедрение телемедицины сталкивается с рядом проблем, включая необходимость значительных инвестиций в инфраструктуру и обучение персонала, а также вопросы безопасности данных [10]. Однако, в долгосрочной перспективе, успешная интеграция МИС и телемедицины может привести к значительным улучшениям в доступности и качестве медицинской помощи, особенно в отдаленных регионах [7-9].

Помимо вышеуказанного замечания для разработки системы для телемедицины необходимо учитывать этические аспекты реализации. Такие как обеспечение конфиденциальности и передачи информации о пациенте, требуют тщательного рассмотрения при разработке и внедрении телемедицинских систем [10, 11].

Несмотря на эти проблемы, телемедицина имеет значительный потенциал для улучшения качества медицинской помощи. Одним из ключевых преимуществ является возможность предоставления специализированных медицинских услуг в отдаленные и сельские районы, где доступ к квалифицированным медицинским кадрам ограничен [8,12]. Исследования показывают, что телемедицинские консультации могут быть столь же эффективны, как и традиционные очные визиты, в диагностике и лечении ряда заболеваний [13]. Более того, телемедицина может способствовать снижению затрат на медицинское обслуживание, уменьшая необходимость транспортировки пациентов и сокращая время ожидания для получения медицинской помощи [14].

В дополнении, реализация и запуск медицинской информационной системой для телемедицины позволяет улучшить координацию ухода за пациентами, облегчая обмен медицинской информацией между различными учреждениями и специалистами. Это особенно важно для пациентов с хроническими заболеваниями, требующими постоянного мониторинга и координации раз-

личных видов лечения [15]. Кроме того, использование телемедицины в сочетании с МИС может улучшить сбор и анализ медицинских данных, что способствует проведению более точных и обоснованных клинических исследований [16].

В рамках данного исследования в статье представлена архитектура и модель медицинской информационной системы для телемедицины, включающую функцию электронной записи к специалистам. Исследовательская работа учитывает анализ, произведенный в работах [7]. Анализ рассматривал существующую платформу и бизнес-процессы, зарегистрированных в перечне МИС Министерства здравоохранения Республики Казахстан, позволит определить сильные и слабые стороны текущих решений.

Основная задача разработки модели МИС — создание интуитивно понятный и удобный инструмент для оптимизации взаимодействия врачей и пациентов. На первом этапе необходимо оптимизировать процессы обмена информацией, что включает разработку удобных интерфейсов. Важно подобрать подходящие технологии и решения для обеспечения легкости и эффективности коммуникации между пользователями системы. К тому же исследованы подходы для упрощения записи на прием, включая создание системы автоматизированного бронирования и управления расписанием врачей. Изучены существующие методы и инструменты, а также оценена их применимость в проекте [17].

Для реализации МИС исследованы современные технологии и оборудование. Изучены фреймворки, такие как Django, для обеспечения надежности системы. Для разработки интерфейса оценены инструменты Angular, для обеспечения интерактивности и удобства. Рассмотрены базы данных, включая SQLite, с точки зрения производительности,

Интерфейс играет ключевую роль в веб-приложении, обеспечивая удобство поиска врачей, записи на прием и проведения онлайн-консультаций в реальном времени. Необходима интуитивно понятная и простая в использовании интеграция, для чего Angular является оптимальным решением.

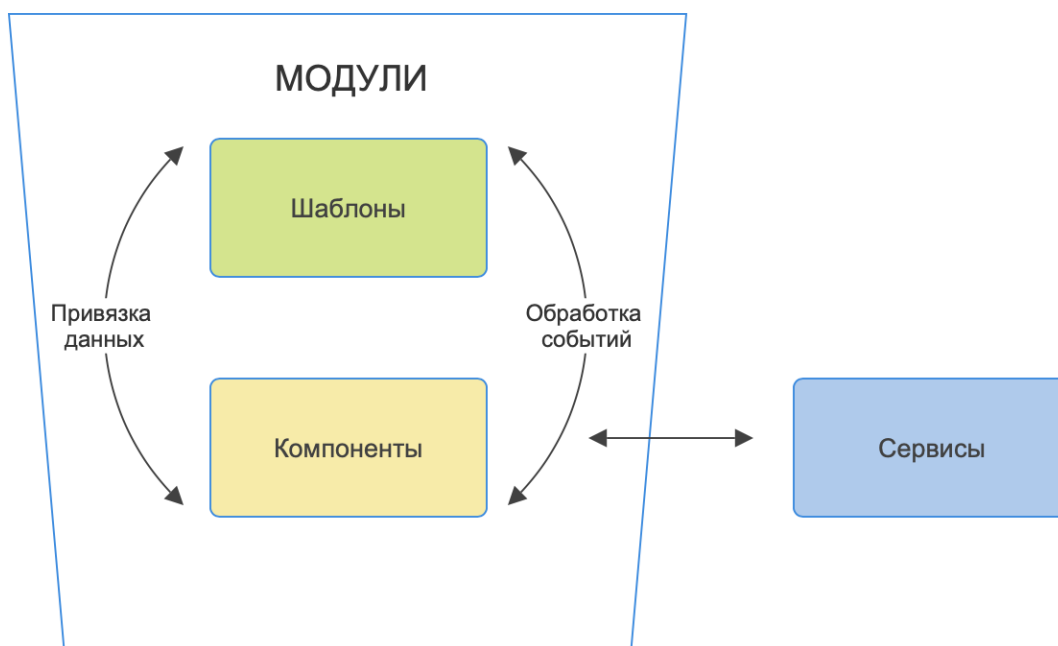


Рис. 1 - Архитектура Angular

Архитектура в Angular на Рисунке 1 построена на компонентах, где каждый компонент включает свою логику, данные и представление. Компоненты (Component) представляют элементарные части приложения, включающие HTML-шаблоны, CSS для стилей и TypeScript для логики, позволяя управление каждой частью, делая их независимыми модулями для реализации МИС системы. Сервисы (Services) выполняют задачи: получение данных о пациенте, работа с учетными записями и управление встречами, позволяя компонентам заниматься на представлении информации пользователя [18].

Модули (Modules) объединяют схожие компоненты и сервисы, предлагая функции такие, как личная консультация между врачом и пациентом в отдельный блок. Маршрутизация (Routing) позволяет перемещаться между страницами приложения, такими как вход, регистрация, просмотр врачей и запись на прием. Привязка данных (Data binding) и обработка событий (event handling) автоматически обновляет интерфейс при изменении состояния приложения. Обработка событий позволяет компонентам реагировать на действия пациентам, такие как отправка формы заявки или нажатие кнопки, обеспечивая оперативное взаимодействие [18].

Выбранная методология соответствует целям проекта, поскольку направлена на тщательное исследование, практическую разработку и эффективную интеграцию функций. Сочетание обзоров литературы и выбранной методологии обеспечило понимание потребностей пользователей и существующих решений.

Результаты и обсуждение. Выбор остановился на SQLite для базы данных из-за её легкости и интеграции с Django фреймворком. SQLite предлагает простоту и удобство, позволяя сосредоточиться на разработке без сложной настройки. В дальнейшем система может плавно перейти на более масштабируемое решение, поддерживаемое Django, благодаря гибкости SQLite [19].

На рисунке 2 представлена схема базы данных (БД) МИС системы. База данных содержит данные о врачах и пациентах, организуя информацию в нескольких таблицах. База данных содержит на таблицы, разделенных на три основные группы (Доктор, Пациент, Запись).

Профиль (Profile): Содержит основную информацию о пользователе, включая имя, фамилию, адрес электронной почты, пароль, секретный вопрос и ответ для верификации, а также индикатор статуса врача.

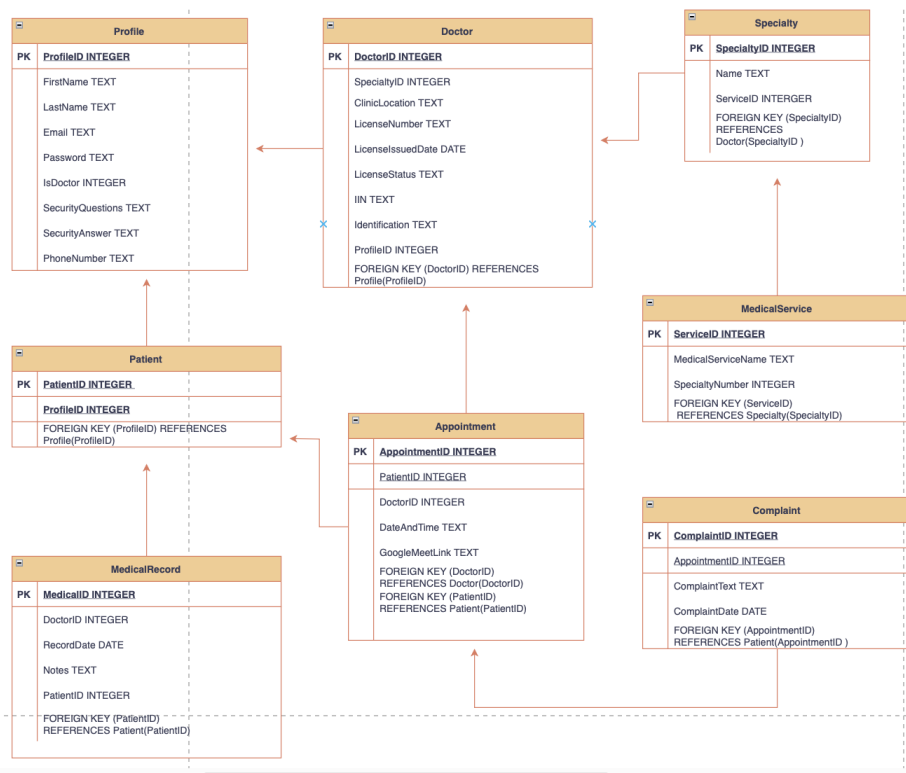


Рис. 2 – ERD Диаграмма БД МИС системы

Доктор (Doctor): Предоставляет дополнительные данные, специфичными для врачей, такими как специальность, расположение клиники, информация о лицензии и статус проверки, если профиль является доктором. Специальность (Specialty): Содержит информацию о врачебных специальностях. Медицинские услуги (Medical//Service) - тождествуется со соответствующим лечебным специальностям.

Пациент: Расширяет таблицу "Профиль" для

представления пациентов, если запись о профиле является пациентом. Медицинская запись (MedicalRecord): Сохраняет данные о пациентах.

Запись (Appointment): Управляет деталями встреч между врачами и пациентами, включая дату, время и ссылку на онлайн-консультации. Жалоба (Complaint): Обрабатывает жалобы пациентов предварительно до записи на прием к врачу.

Рисунок 3 показывает структуру нашего бэкенда, организованного по приложениям:

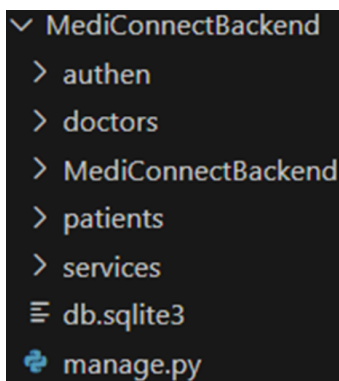


Рис. 3 - Структура бэкенда системы

Каждый модуль отвечает со следующие функции:

1. Authen: Аутентификация и управление пользователями.
2. Врачи (doctors): Профили врачей, включая специальности и проверку лицензий.
3. Пациенты (patients): Профили пациентов и их взаимодействие с врачами.
4. Услуги (services): Управление медицинскими услугами и запись на прием.

5. MediConnectBackend: Основная программа с глобальными настройками и конфигурациями.

В проекте запрос поступает к диспетчеру URL-адресов в 'urls.py', который направляет его к соответствующему представлению в 'views.py'. Представление обрабатывает запрос, проверяет данные, вызывает бизнес-логику и взаимодействует с моделями из 'models.py', управляющими базой данных через Django. Для преобразования моделей в JSON и проверки данных используются сериализаторы из 'serializers.py'. После обработки представление возвращает HTTP-ответ, будь то HTML-шаблон, JSON для API или перенаправление, указанные на Рисунке 4.

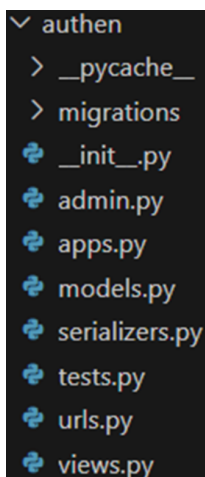


Рис. 4 - Структура программы

МИС система обеспечивает доступ к медицинским услугам, позволяя пользователям искать и планировать встречи. Программа моделирует специализации, медицинские услуги и посещения, где прием и медицинское обслуживание соответствуют различным видам услуг. Функциональность, связанная с доступом к услугам, созданием встреч и изменением данных о бронировании, реализована в 'view.py'.

Дизайн страницы входа позволяет существующим пользователям войти в систему и обрабатывает данную функциональность, отображен на Рисунке 5. Пользователям необходимо указать собственный адрес электронной почты и пароль. Компонент проверяет, заполнены ли оба поля и валидность формата электронной почты. Ес-

ли учетные данные верны, пользователь попадает на домашнюю страницу. Если нет, отображается сообщение об ошибке.

Рис. 5 - Форма авторизации

Переходя на страницу выбора определенного доктора, страница сведений о враче предоставляет подробную информацию, включая его профиль и назначения, отображен на Рисунке 6. При инициализации компонента данные о враче извлекаются из параметров маршрута с использованием его идентификатора. Метод системы получает информацию о профиле врача, такую как имя, фамилия и адрес электронной почты. Если пользователь не авторизован, он перенаправляется на страницу входа.

Управление встречами в системы Телемедицины является критическим элементом, обеспечивающим плавное планирование, наблюдение и регулирование встреч между врачами и пациентами. Система предоставляет надежные функции, помогающие упростить все этапы взаимодействия, включая создание, управление и интеграцию с внешними инструментами. Пользователи имеют возможность выбирать доступные временные слоты из динамического календаря, который отображает как свободные, так и зарезервированные слоты, гарантируя прозрачность и легкость использования системы для записи на консультацию на Рисунке 7.

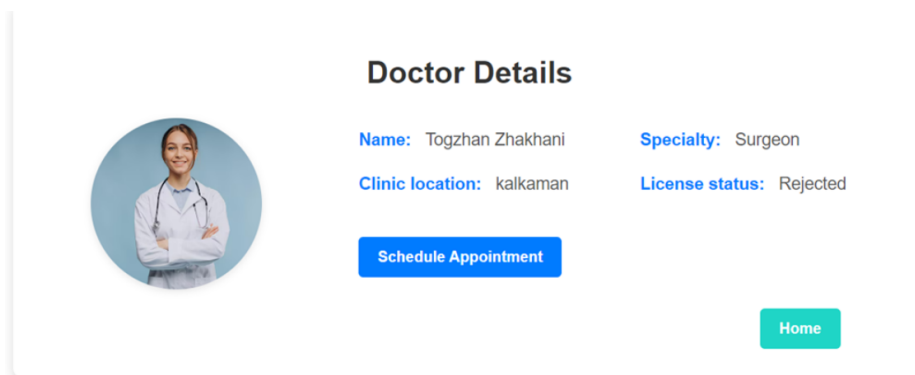


Рис. 6 - Профиль доктора

	28 May	29 May	30 May	31 May	3 Jun
9:00 AM	Available	Booked	Available	Available	Available
10:00 AM	Available	Available	Available	Available	Available
11:00 AM	Available	Available	Available	Available	Available
12:00 PM	Available	Available	Available	Available	Available
2:00 PM	Available	Available	Available	Available	Available
3:00 PM	Available	Available	Available	Available	Available
4:00 PM	Available	Available	Available	Available	Available
5:00 PM	Available	Available	Available	Available	Available

[Schedule Appointment](#)
[Go Home](#)

Рис. 7 - Страница планирования встреч

Функция планирования встреч в МИС проверяет выбранный интервал и аутентификацию пользователя. Она извлекает идентификатор пациента и формирует данные о встрече с использованием идентификатора врача. При редактировании данные обновляются, при создании встречи они добавляются. После успешного выполнения операции пользователь получает уведомление, а при ошибке система предупреждает.

Разработка модели медицинской информации-

ной системы для записи на прием направлена на облегчение планирования встреч между медицинским персоналом и пациентами. Система обеспечивает удобный интерфейс для записи на прием к врачу, управления расписанием и проведения медицинских консультаций.

Для непрерывного улучшения системы существенно необходимо собирать обратную связь от пользователей через опросы, фокус-группы или индивидуальные интервью. Это позволит оце-

нить их опыт, выявить узкие места и определить приоритеты для будущих улучшений. Такой подход приводит к повышению эффективности работы системы, улучшению качества заботы о пациентах и обеспечивает бесперебойное функционирование.

Выводы. В результате проведенного исследования была разработана и предложена модель медицинской информационной системы (МИС) для телемедицины, ориентированная на улучшение процесса записи пациентов к медицинским специалистам. Основной целью данной работы было создание решения, направленного на повышение качества медицинских услуг, оптимизацию административных процессов и расширение доступа к медицинским услугам для пациентов, особенно в удаленных регионах.

Для разработки системы использовались современные веб-технологии: Django для серверной части, Angular для внешнего интерфейса и SQLite для управления базами данных. Основные модули системы включают регистрацию и аутентификацию пользователей, управление профилями пациентов и врачей, а также планирование встреч.

Анализ производительности системы показал, что использование базы данных SQLite позволяет эффективно обрабатывать записи пациентов и медицинских специалистов. Однако SQLite ограничивает масштабируемость системы. Для крупных медицинских учреждений с большим объемом данных и пользователей необходимо перейти на более мощные системы управления базами данных.

Качественные показатели работы системы по-

казывают, что улучшено взаимодействие между пациентами и медицинским персоналом, а также упрощен процесс записи. Однако текущая версия системы требует дополнительных мер для усиления безопасности данных, что особенно важно при работе с конфиденциальной медицинской информацией. Требуется внедрение улучшенных механизмов аутентификации и верификации.

Система прошла апробацию медицинскими специалистами клиники «Aisera Clinic» в городе Астана, где продемонстрировала свою эффективность и надежность. Результаты апробации подтверждают, что внедрение МИС способствует упрощению процессов записи и обработки информации о пациентах, а также улучшению качества предоставляемых медицинских услуг.

В дальнейшем развитии системы планируется интеграция дополнительных функций, усиление мер безопасности и улучшение пользовательского интерфейса для более эффективного обслуживания пользователей и обработки больших объемов данных. Также предусмотрено расширение системы для крупных учреждений с применением более мощных баз данных и улучшенной системы безопасности.

Таким образом, разработанная медицинская информационная система представляет значительный прогресс в управлении медицинскими услугами, предоставляя комплексное решение для записи на прием и онлайн-консультаций. С постоянным развитием и адаптацией к изменяющимся потребностям, МИС будет продолжать обеспечивать высокий уровень эффективности и доступности медицинских услуг в условиях цифровой трансформации здравоохранения.

Литература

1. Giansanti D. Ten years of telehealth and digital healthcare: Where are we? //Healthcare. – MDPI.- 2023. - Vol. 11. – №. 6. DOI 10.3390/healthcare11060875
2. Smith A. C., Thomas E., Snoswell C. L., Haydon H., Mehrotra A., Clemensen J., and Caffery L.J. Telehealth for global emergencies: Implications for coronavirus disease 2019 (COVID-19) //Journal of telemedicine and telecare.- -2020.-Vol.26(5).- P. 309-313. DOI 10.1177/1357633X20916567
3. Betancourt J. A., Rosenberg M. A., Zevallos A., Brown J. R., and Mileski M. The impact of COVID-19 on telemedicine utilization across multiple service lines in the United States //Healthcare. – MDPI.- 2020. -Vol. 8(4). DOI 10.3390/healthcare8040380

-
4. Alotaibi Y. K., Federico F. The impact of health information technology on patient safety //Saudi medical journal. - 2017. -Vol. 38(12). - P. 1173-1180. DOI 10.15537/smj.2017.12.20631
 5. Phuong J., Ordóñez P., Cao J., Moukheiber M., Moukheiber L., Caspi A., and Mankoff J. Telehealth and digital health innovations: A mixed landscape of access //PLOS Digital Health. – 2023. - Vol. 2(12). DOI 10.1371/journal.pdig.0000401
 6. Ma Y., Zhao C., Zhao Y., Lu J., Jiang H., Cao Y., and Xu Y. Telemedicine application in patients with chronic disease: a systematic review and meta-analysis //BMC medical informatics and decision making. - 2022. -Vol. 22(1). DOI 10.1186/s12911-022-01845-2.
 7. Seitenov A., Zhukabayeva T., Sansyzbay K., Kalpakov E. Design development of medicine information system for telemedicine field //The Bulletin of KazATC.- 2023. -Vol. 127(4).- P. 241-251. DOI 10.52167/1609-1817-2023-127-4-241-251
 8. Akhtar M. N., Haleem A., Javaid M. Scope of health care system in rural areas under Medical 4.0 environment //Intelligent Pharmacy.- 2023. -Vol. 1(4). - P. 217-223. DOI 10.1016/j.iph.2023.07.003
 9. Kim Y.S. Telemedicine in the USA with focus on clinical applications and issues //Yonsei medical journal. -2004.- Vol. 45(5).- P. 761-775. DOI 10.3349/ymj.2004.45.5.761
 10. Shen Y.T., Che L., Yue W.W., and Xu H.X. Digital technology-based telemedicine for the COVID-19 pandemic //Frontiers in medicine. - 2021.-Vol. 8. DOI 10.3389/fmed.2021.646506
 11. Epizitone A., Moyane S.P., Agbehadji I.E. A systematic literature review of health information systems for healthcare //Healthcare.- MDPI.-2023.-Vol. 11(7). DOI 10.3390/healthcare11070959
 12. Palozzi G., Schettini I., Chirico A. Enhancing the sustainable goal of access to healthcare: findings from a literature review on telemedicine employment in rural areas //Sustainability. – 2020. - Vol. 12(8). DOI 10.3390/su12083318
 13. Combi C., Pozzani G., Pozzi G. Telemedicine for developing countries. A Survey and Some Design Issues //Applied Clinical Informatics.-2016. -Vol. 7(4). - P. 1025-1050. DOI 10.4338/ACI-2016-06-R-0089
 14. Shigekawa E., Fix M., Corbett G., Roby D. H., and Coffman, J. The current state of telehealth evidence: a rapid review //Health Affairs.-2018. –Vol. 37(12) -P. 1975-1982. DOI 10.1377/hlthaff.2018.05132
 15. Dullet N.W. Geraghty E.M., Kaufman T., Kisse J.L., King J., Dharmar M., and Marcin J.P. Impact of a university-based outpatient telemedicine program on time savings, travel costs, and environmental pollutants //Value in Health. – 2017. – Vol. 20(4). – P. 542-546. DOI 10.1016/j.jval.2017.01.014
 16. De La Torre-Díez I. López-Coronado M., Vaca C., Aguado J. S., and de la Torre B. Cost-utility and cost-effectiveness studies of telemedicine, electronic, and mobile health systems in the literature: a systematic review //Telemedicine and e-Health. -2015.-Vol. 21(2). -P. 81-85. DOI 10.1089/tmj.2014.0053
 17. Agarwal S., LeFevre A. E., Lee J., L'engle K., Mehl G., Sinha C., & Labrique, A. Guidelines for reporting of health interventions using mobile phones: mobile health (mHealth) evidence reporting and assessment (mERA) checklist. //bmj. - 2016. -Vol. 352. DOI 10.1136/bmj.i1174
 18. Garg, A. What is Angular?: Syntax, Features, Architecture, & More: Internshala Trainings Blog. DOI 10.1089/tmj.2014.0053- URL: <https://trainings.internshala.com/blog/what-is-angular/>
 19. Priy S. Introduction to SQLite. // GeeksforGeeks. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/introduction-to-sqlite/>

Сведения об авторах

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

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

Al-Majeed S. - PhD, профессор, Al Akhawayn University, Ифран, Марокко, e-mail: salah.almajeed@gmail.com;

Wolff C. - PhD, профессор, Fachhochschule Dortmund, Дортмунд, Германия, e-mail: carsten.wolff@fh-dortmund.de

Information about the authors

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

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

Al-Majeed S. - PhD, professor, Al Akhawayn University, Ifrane, Morocco, e-mail: salah.almajeed@gmail.com;


Wolff C. - PhD, professor, Fachhochschule Dortmund, Dortmund, Germany, e-mail: carsten.wolff@fh-dortmund.de

ЖОЛ ҚИЫЛЫСТАРЫНДАҒЫ КӨЛІК ҚҰРАЛДАРЫНЫҢ АҒЫНЫН НАҚТЫ УАҚЫТ РЕЖИМІНДЕ ДИНАМИКАЛЫҚ РЕТТЕУ

¹Д.С. Жамангарин, ¹С.А. Алтынбек, ¹А.Д. Тулегулов , ¹К.М. Акишев, ²Н.П. Сапарходжаев

¹Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

²Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті., Өскемен, Қазақстан

 Корреспондент-автор: tad62@ya.ru

Соңғы жылдары қалалық жерлерде бағдаршамдардың өткізу қабілеттілігін арттыру мақсатында көлік құралдарының кептелісін динамикалық басқаруға көбірек көңіл бөлінуде. Осы мақсатта кіру жылдамдығына негізделген жеке traf C шамдары үшін бірқатар адаптивті басқару алгоритмдері ұсынылды. Алайда, нақты уақыт режимінде бірнеше қиылыстардан өтетін жол жағдайларын ескере отырып, бағдаршамдардың өткізу қабілеттілігін арттыру мәселесіне көңіл бөлінді. Бұл жұмыста біз әр түрлі шығыс бағыттарына кіретін көліктерді қарастыра отырып, максималды өткізу мәселені тұжырымдаймыз. Содан кейін біз жаңа адаптивті traf C жарық сигналын басқару алгоритмін ұсынамыз, ол жол қозғалысын барынша арттыруға және қиылыста көлік құралдарының күту уақытын қысқартуға мүмкіндік береді. Ұсынылған алгоритм негізгі және көршілес қиылыстардың нақты уақыттағы жол жағдайына байланысты traf C жарық сигналының фазалары мен ұзақтығын реттейді. SUMO модельдеу арқылы біз ұсынылған алгоритмнің өткізу қабілеттілігі мен орташа жүру уақыты тұрғысынан тиімділігін көрсетеміз.

Түйін сөздер: адаптивті жүйелер, traf C, адаптивті басқару, алгоритм, SUMO модельдеу.

ДИНАМИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ПЕРЕКРЕСТКАХ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

¹Д.С. Жамангарин, ¹С.А. Алтынбек, ¹А.Д. Тулегулов , ¹К.М. Акишев, ²Н.П. Сапарходжаев

¹Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан,

²Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан,

e-mail: tad62@ya.ru

В последние годы все больше внимания уделяется динамическому управлению заторами транспортных средств с целью увеличения пропускной способности светофоров в городских районах. С этой целью был предложен ряд алгоритмов адаптивного управления для отдельных ламп traf C, основанных на скорости входа. Однако с учетом дорожных условий, проходящих через несколько перекрестков в режиме реального времени, внимание было уделено вопросу увеличения пропускной способности светофоров. В данной статье мы формулируем проблему максимальной пропускной способности, рассматривая транспортные средства, въезжающие в разные направления. Затем мы представляем новый адаптивный алгоритм управления световым сигналом traf C, который позволяет максимизировать дорожное движение и сократить время ожидания транспортных средств на перекрестке. Предлагаемый алгоритм регулирует фазы и продолжительность светового сигнала traf C в

зависимости от дорожной ситуации в реальном времени между основным и соседним пересечениями. С помощью моделирования SUMO мы демонстрируем эффективность предложенного алгоритма с точки зрения пропускной способности и среднего времени в пути

Ключевые слова. адаптивные системы, traf C, адаптивное управление, алгоритм, моделирование SUMO.

DYNAMIC CONTROL OF THE FLOW OF VEHICLES AT INTERSECTIONS IN REAL TIME

¹D. Zhamangarin, ¹S. Altynbek, ¹A. Tulegulov✉, ¹K. Akishev, ²N. Saparkhodzhaev

¹K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,

²D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

e-mail: tad62@ya.ru

In recent years, more and more attention has been paid to dynamic traffic congestion management in order to increase traffic light capacity in urban areas. To this end, a number of adaptive control algorithms have been proposed for individual traf C lamps based on the input speed. However, taking into account the road conditions passing through several intersections in real time, attention was paid to the issue of increasing the traf C light capacity. In this article, we formulate the problem of maximum throughput by considering vehicles entering in different directions. Then we present a new adaptive traffic light control algorithm that maximizes traf C and reduces the waiting time for vehicles at the intersection. The proposed algorithm adjusts the phases and duration of the traf C light signal depending on the real-time road conditions of the main and adjacent intersections. Through SUMO simulations, we demonstrate the effectiveness of the proposed algorithm in terms of bandwidth and average travel time.

Keywords. adaptive systems, traf C, adaptive control, algorithm, SUMO modeling.

Кіріспе. Мегаполистерде урбанизацияға байланысты белгілі бір жолдардағы автокөлік тығыздығы жоғары қарқынмен өсті. Бұл жолдың кептелуіне, апаттарға, жанармай шығынына, СО шығарындыларына және трафиктің кешігуіне әкелді [1,2]. Бұл мәселелер зерттеу жұмыстарының назарын арттыруға түрткі болды және көлік қозғалысын басқарудың әртүрлі стратегияларын әзірлеуге әкелді. Пайда болған стратегиялардың бірі-қауіпсіздік камералары, traf C бейнекамералары, пьезоэлектрлік датчиктер, индуктивті ілмектер және т.б. сияқты әртүрлі сенсорлық технологияларды қолдану арқылы жиналған ақпаратқа сүйенетін интеллектуалды көлік жүйесі ұғымын жүзеге асыру, жол жағдайын бақылау және автокөлік жүргізушілерін сигналдары арқылы ескертуге болады. Алайда, ITS-де қолданылатын бақылаудың мұндай әдеттегі әдістері шектеулі қамту мен техникалық қызмет көрсетудің жоғары құнына байланысты тиімді болмайды. Осы кемшілік-

терді жою және нақты уақыт режимінде трафиктің нақты деректерін жинау үшін ITS тұжырымдамасы сымсыз байланыс технологияларымен толықтырылған, бұл көлік құралдарының арнайы желісінің дамуына әкеледі. Сонымен қатар, traf C жарықтандыру уақытын жақсарту үшін сымсыз сенсорлық желілер пайдаланылды [3,4].

Материалдар мен әдістер. Қалалық жолдардағы C қозғалысының жағдайын жақсартуға арналған танымал VTM стратегияларын екі топқа бөлуге болады. Бірінші топ traf C деректерін жинауға, пайдалануға және деректер негізінде көліктерді айналып өтетін қайта бағыттау алгоритмдерін қолдануға бағытталады [5,6]. Сонымен қатар, зерттеулер әрбір жолдың нақты уақыттағы қозғалыс жағдайларын ескеруге мүмкіндік беру үшін сымсыз байланыс технологиялары мен есептеу ресурстарындағы жетістіктерді пайдаланатын, traf C адаптивті басқаруды зерттейді [7,8]. Зерттеу жұмыстарының көпшілігінің негіз-

гі бағыты негізінен бір қиылысты қиылыстыра отырып, traf C өткізу қабілетін арттыруға бағытталған; тек бірнеше зерттеулер traf C максимизациясы үшін бірнеше қиылыстарды қарастырады [9,10]. Алдыңғы жұмыстардан айырмашылығы, бұл жұмыс мақсатты қиылыстағы және оның төрт бағыттағы көршілес қиылыстарындағы нақты уақыттағы жағдайды ескере отырып, көлік құралдарының трафигін максимизациялау мәселесін қарастырады және TFM - ді максималды бүтін сан ретінде модельдейді.

Әдетте кептеліс тудыратын жол желісіне кіретін көлік құралдары әр түрлі шығыс бағыттармен жүруге ниетті болғандықтан, кіру және шығу нүктелері бірдей көлік құралдарының ағыны 0 және 1 желісіндегі геокартаға түсірілуі мүмкін. Сонымен қатар, бір 0-ға жататын көлік құралдарының саны, яғни шығу және келу позициялары бірдей көлік құралдары тобы белгілі бір аралықтың сұранысына сәйкес келуі мүмкін. Біз жол желісін $gd(V;E)$ бағытталған графигі түрінде ұсынылған 0 желісіне геокартаға түсіреміз, мұнда V және E сәйкесінше барлық қиылыстар мен жол сегменттерін қамтиды. G-ге сүйене отырып, біз қарастырылған мәселесін қуаттылық, 0 сигналдың уақыт үнемдеу және сұранысты қанағаттандыру шарттарымен MCF-мен салыстыруға болатындығын көрсетеміз. Содан кейін біз 1-ші қиылысынан белгілі бір бағытқа қарай жасыл шамды күтіп тұрған көліктерді ескере отырып, MCF үлгісін тұжырымдаймыз.

Қалыптасқан MCF мәселесін шешу үшін біз кептеліс пен бос жасыл ұзақтықты азайту құралы ретінде бірнеше қиылыстардың (атомдардың) жол жағдайларын ескеретін адаптивті traf C жарық фазасы мен ұзақтығын оңтайландыру алгоритмін енгіземіз. Негізінде, traf C өткізу қабілеттілігін арттыруға және қиылыста және оның қиылыстарында күту уақытын қысқартуға тырысады. Сонымен қатар, трафиктің өткізу қабілеттілігінің артуы және күту уақытының қысқаруы жергілікті және көршілес қиылыстардың айналасындағы жолдардың қозғалыс деңгейін ескере отырып, динамикалық түрде реттеледі және теңестіріледі.

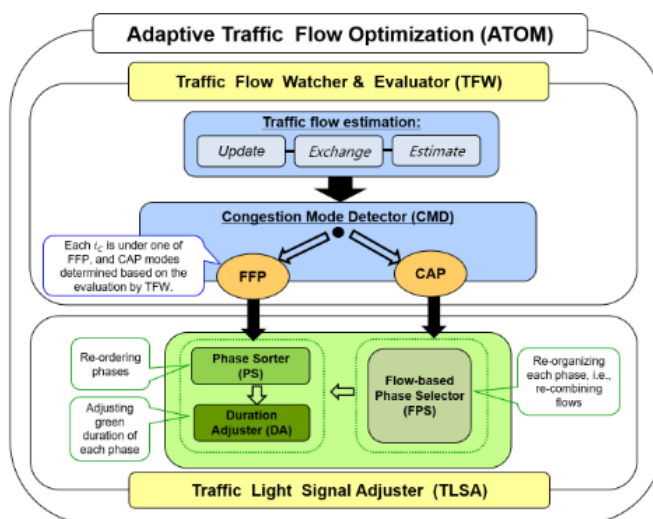
Traf C деректерін жинау үшін көлік құралдарындағы борттық қондырғылар, Iare - дегі I жол бойындағы бөлімшелердегі (Rsu) Obu және жол бойындағы қондырғылар (Rsu) арасындағы әртүрлі коммуникациялық технологиялар пайдаланылады. Кіретін көліктердің саны, барлық бағыттарды күту уақыты және т. б. сияқты i-дегі traf C статистикасын бақылау.

Traf C деректері негізінде алынған кептеліс деңгейіне сүйене отырып, өтіп бара жатқан көліктердің санын көбейту мен i - де орташа күту уақытын қысқарту арасындағы тепе-теңдікті сақтау үшін traf C жарықты басқарудың әртүрлі тәсілдерін қолданады.

Автокөлік туралы деректер негізінде алынған кептеліс деңгейіне сүйене отырып, өтіп бара жатқан көліктердің санын көбейту мен i - де орташа күту уақытын қысқарту арасындағы тепе-теңдікті сақтау үшін C трафигіндегі жарықты басқарудың әртүрлі тәсілдерін қолданады. Трафигінің төмен көлемі байқалған кезде, күту уақытын қысқарту үшін бос жасыл уақытты жоюға назар аударады. Сонымен қатар, C автокөліктің қарқынды жағдайында назары жақын маңдағы жолдардағы кептелістерді азайтуға бағытталған. Екі жағдайда да traf C жарық циклін реттеуді және/немесе жергілікті және жақын маңдағы қиылыстардағы бақыланатын traf C деректері негізінде жасыл жарық фазаларын және олардың ұзақтығын таңдау мен ретке келтіруді оңтайландыруды таңдайды. Модельдеу нәтижесінде атомның трафиктің өзгеруіне және өткізу қабілеттілігіне және пайдаланушының кідірісіне бейімделудегі тиімділігі артады.

Адаптивті бағдаршамды оңтайлату тәсілі

АБОТ-тың басты ерекшелігі-жолдағы көлік құралдарының тығыздығының динамикалық өзгеруіне байланысты traf c оңтайландырудың екі түрлі тәсілін қолданылады. Traf c жарық агентінен тұрады, атап айтқанда traf c бақылаушысы және бағалаушы (TFW) және traf c жарық сигналын реттегіш болады. Бағдаршам параллель жұмыс істейді және бір уақытта 1-суретте көрсетілгендей бір-бірімен байланысады.



1 –сурет. ЕКІ агент арасындағы өзара байланыс

АТОМ траф С жалпы өткізу қабілетін жақсартуды және і-де күтілетін көліктің орташа өткізу қабілетін азайтуды таңдайды. АБОТ екі жұмыс істейді, атап айтқанда TFW және TLSA.

TFW жергілікті және жақын маңындағы қиылыстардағы С трафигінің динамикалық өзгерістерін бақылайды және і бағытында келе жатқан С трафигінің көлемін, сондай-ақ і-ден шығатын жолдардағы жағдайларды бағалайды. Деректерді жинауды жол датчиктері, 802.11 p, 802.16, яғни WiMAX немесе LTE-V немесе 3gpp Cellular-V2X(C-V2X) сияқты ЭРТҮРЛІ V2V, V2I және I2I технологияларын қолдану арқылы іс жүзінде жүзеге асыруға болады. Содан кейін TFW бақыланатын жолдағы кептеліс деңгейін бағалайды. Негізінде, tfw кептелу режимінің детекторы (CMD) і күйін екі режимге жіктейді, атап айтқанда, бос 0 кезеңі (FFP) және үздіксіз реттелетін кезең. Сонымен қатар, TFW жүргізетін траф с оңтайландыруының әсерін мезгіл-мезгіл анықтап және өнімділікті жақсарту үшін нәтижелерді TLSA-ға қайтарады. Сонымен қатар, TLSA төменде түсіндірілгендей, TFW бағалаған і-дегі кептеліс деңгейіне байланысты әртүрлі стратегияларды қолдану арқылы бағдаршамды оңтайландырады.

Бұл і-де қалатын немесе өтетін көлік құралдарының жалпы көлемі аз болатын уақыт кезеңін анықтап, осылайша і-дегі траф с өткізу қабілеттілігі негізінен циклдің ұзақтығына әсер етеді, оның

барысында әрбір кем дегенде бір рет жасыл шамаға ауысады. FFP-де, әдетте, і-ден әр түрлі бағытта өтетін көліктердің орташа күту уақытын қысқарту үшін қысқа циклға артықшылық беріледі, өйткені і қызмет көрсететін көліктердің жалпы саны аз. Сондықтан, FFP кезінде TLSA, бұдан әрі TLSA деп белгіленеді, траф с жарық циклінің сәйкес ұзындығын есептейді мен онда барлық F бір рет жасыл шаммен сақталады және жасыл сигналдың реті мен ұзақтығын салыстырмалы түрде көп кіретін бағыттарға қолайлы етіп реттейді. Сонымен қатар, FFP цикл ұзақтығын, фазаларын және жасыл жарықтың ұзақтығын кезең - кезеңімен реттеуге байланысты үш ішкі деңгейге бөлінеді.

Уақыт сигналдары симуляция арқылы тексеріледі.

Симуляциялық орта және тиімділік көрсеткіштері

Модельдеу Python тілінде SUMO көмегімен жүзеге асырылды [11,12]. Эксперименттер қолданылған жол торын да, нақты жол желісін де пайдаланады. Біріншісі жолдың әртүрлі ұзындығы мен енінде АБОТ тиімділігін бағалауға мүмкіндік береді. 2(а) суретінен көрініп тұрғандай, қарастырылатын тор 13 қиылыстан, кіру және шығу жолақтары опциялары бар 44 жол сегментінен тұрады. Жолдың барлық учаскелерінің ұзындығы бірдей. Сегмент ұзындығын өзгерту өткізу қабілетін, демек АБОТ өнімділігін өзгертеді. Соны-

мен қатар, орташа қаланың нақты жол желісі қарастырылады. 2(b)-(c) суреттерінде көрсетілгендей, жалпыға ортақ көше карталары арқылы импортталады; Сәйкес параметрлер 1-кестеде кел-

тірілген. Басқаша айтқанда, АБОТ өнімділігі синтетикалық және нақты жол желілерінің көмегімен тексеріледі (кесте 1).

1 –кесте. Жол желісінің ақпараттары

Параметр	Тор желісі		Нақты жол желісі
Жиектерінің жалпы саны	88		311
Жолақтардың жалпы саны	176	440	2172
Жиек ұзындығы (м)	200	800	Әртүрлі [1,40]
Жолдың жалпы ұзындығы (м)	17600	70400	10470
Бағдаршам сигналдарының саны	13		137

Біз топтық маршрутты таңдаудың екі әдістемесі негізінде зерттейміз, атап айтқанда, ең қысқа жүру қашықтығы және Logit моделі [13]. АБОТ өнімділігі i_C мақсатты қиылысында келесі төрт көрсеткіш арқылы бағаланады:

- Қызмет көрсету мөлшерлемесі – бұл желіні пайдалануға тырысқан жалпы көлік құралдарының ішіндегі жол желісіндегі көліктер санының қатынасы. Ол бағдаршамды басқару алгоритмдерінің негізгі өнімділігін көрсетеді. Неғұрлым тиімді байланыс алгоритмі қиылыстарда көбірек көліктерге қызмет көрсетеді және жоғары қызмет көрсету жылдамдығын береді.
- Көлік құралдарының орташа күту уақыты (секунд): көлік құралдарының i_C -де орташа күту уақытының өлшемі. Күту уақыты неғұрлым қысқа болса, алгоритм соғұрлым жақсы жұмыс істейді. Ол i_C қиылысынан өтетін барлық көліктердің орташа сомасына тең.
- Орташа қозғалыс жылдамдығы (км/сағ): желі арқылы жүруін аяқтайтын көлік құралдары үшін орташа қозғалыс жылдамдығына тең. Әрбір көліктің жылдамдығы оның жүру ұзақтығын жол жүру уақытына бөлу арқылы есептеледі.
- Тоқтаған көліктердің орташа саны: i_C нүктесінде жасыл бағдаршамды күтуге тура келген көліктердің орташа санын білдіреді.
- Желіде жүретін көліктердің жалпы саны: қанша көлік жүріп жатқанын көрсетеді және осылайша модельдеу уақыты бойынша желіде тұрады.

Жол жүруді аяқтаған көліктердің жалпы саны: желіден шыққан көліктер санын хабарлайды. Ең дұрысы, барлық алгоритмдер және модельдеу уақыты арқылы анықталатын бірдей мәнге жинақталуы керек, дегенмен уақыт алгоритмнің тиімділігіне байланысты өзгереді

Нәтижелер мен талқылау.

Симуляция нәтижелері

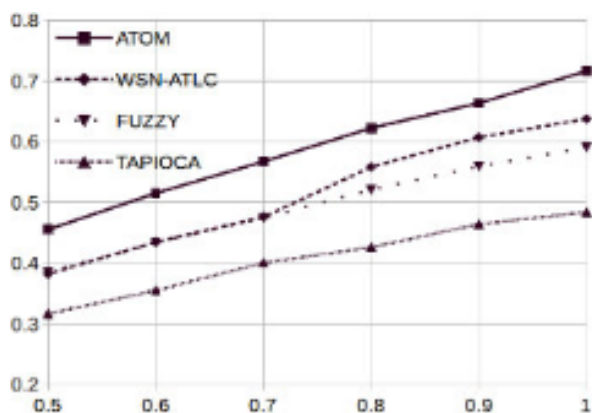
Біз көліктің келу жылдамдығын өзгерту арқылы кептелістің бірнеше деңгейін модельдейміз, мұнда μ [0.2, 3] аралығы таңдалады және көп кептеліс желілерін имитациялау үшін басқа жол желісі конфигурациясына байланысты өзгерді. Мысалы, жол сегментіне 2 жолағы бар желіде 0,5 секундқа орнатылады және осылайша 3600 секундтық модельдеу уақытында конфигурацияланған жол желісіне барлығы 7200 көлік жүктеледі. Цикл бастапқыда 12 фазадан тұрады және оның ұзақтығы 120 секундқа орнатылады; демек, әрбір фазада 10 секунд бойы жасыл шам жанып тұрады. Модельдеу нәтижелері SUMO жасаған жиынтық файлдан жиналады. Жеке эксперименттердің нәтижелері 10 көліктен астам орташа бағаланады және осылайша барлық нәтижелер 90% интервалы талдауына байланысты үлгідегі орташа мәннің 10% шегінде қалады.

Бір жолда 2 жолдағы тор желі

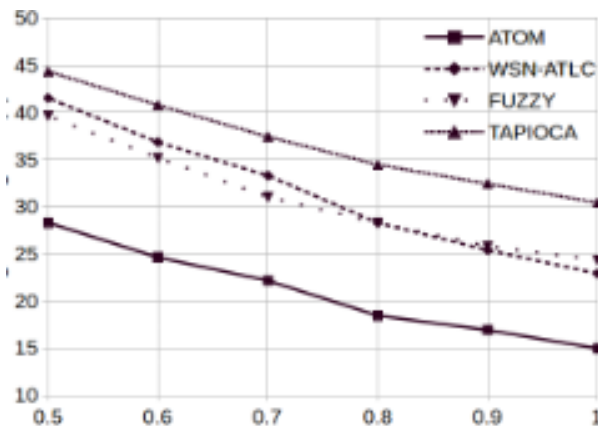
2 суретте 2 жолақты тор желісіндегі алгоритмдердің өнімділігін 0,1 өсімімен 0,5 пен 1 аралығында өзгереді. 2(a) суретінде АБОТ жол желісіндегі кептеліс деңгейіне қарамастан қызмет

көрсету деңгейі бойынша барлық базалық көрсеткіштерден асып түсетінін көрсетеді. АБОТ ең

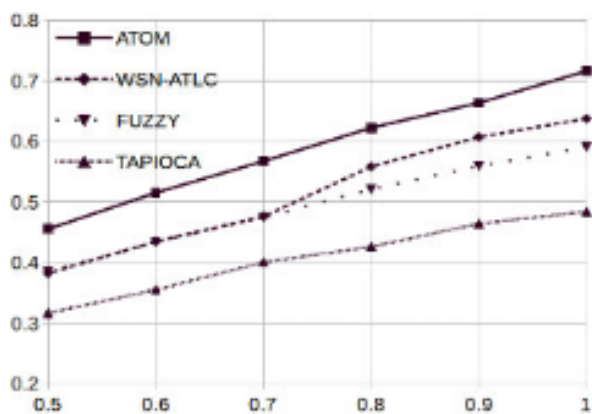
кептеліс жолдарды құрайтын 0,5 көмегімен 45% қызмет көрсету деңгейіне жетеді.



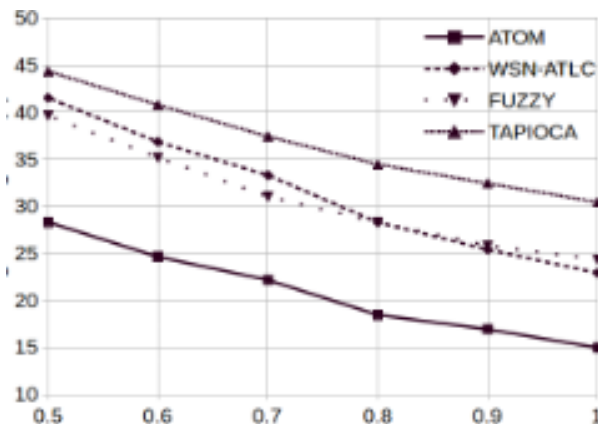
а)



б)



в)



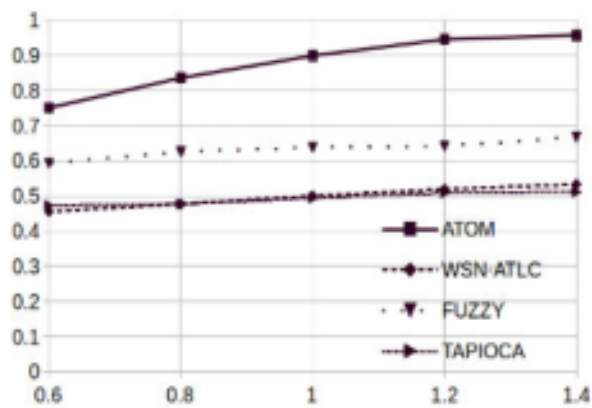
г)

2-сурет. (а) қызмет көрсету жылдамдығы, (б) орташа күту уақыты, (в) жасыл шамның жануын күту кезінде тоқтаған көліктердің орташа саны, және (г) олардың қалыпты жүру жылдамдығы

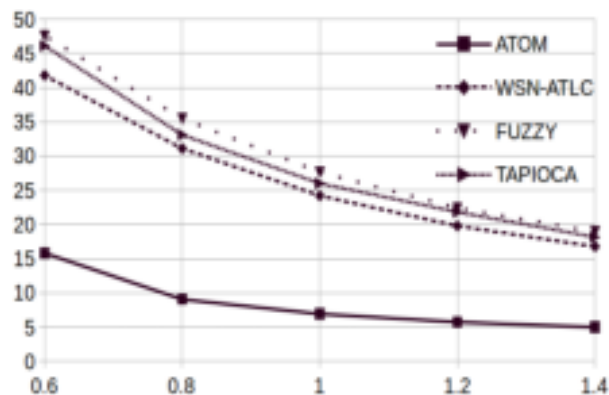
Бір жолға 5 жолақты желілік желі

Біз жолдардың санын және әрбір жол сегментінің ұзындығын сәйкесінше 800 м-ге дейін ұлғайту арқылы электр желісін ұлғайттық. 3-суретте нәтижелер көрсетілген. Осы қондырғыдағы жолдың ені мен ұзындығының ұлғаюын ескере отырып, 2 жолақты тор желісіне ұқсайтын жол кептелісі деңгейлерін модельдеу үшін 0,6-дан 1,4-ке дейін таңдалады. 2 жолақты желіге қарағанда 5 жолақты желілік желіде қызмет көрсетудің жоғары көрсеткіштерін көрсетеді. Өткі-

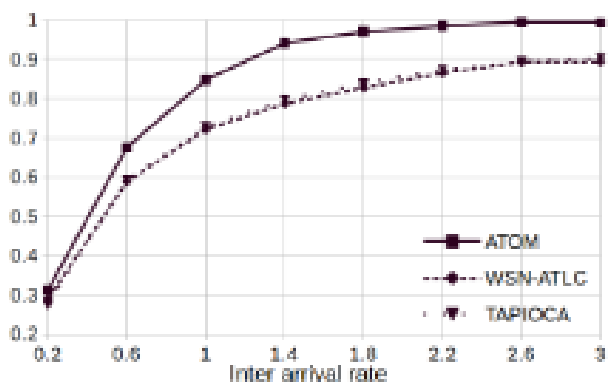
зу қабілеттілігінің артуын ескере отырып, тиімділігі фазаны салыстыру үшін екі жолақты таңдаудың шектелуіне байланысты төмендейді, бұл оның кеңейтілген жол желісіндегі қызмет көрсету жылдамдығын төмендетеді. Тұтастай алғанда, АБОТ осындай үлкен жолды орнату үшін өнімділікті айтарлықтай жақсартады, базалық көрсеткіштер бойынша салыстырғанда 0,6-дан 1,4-ке дейін өседі. 3(а) суреттегі нәтижелер ІРІ жол желілері үшін АБОТ-тың масштабталуын көрсетеді.



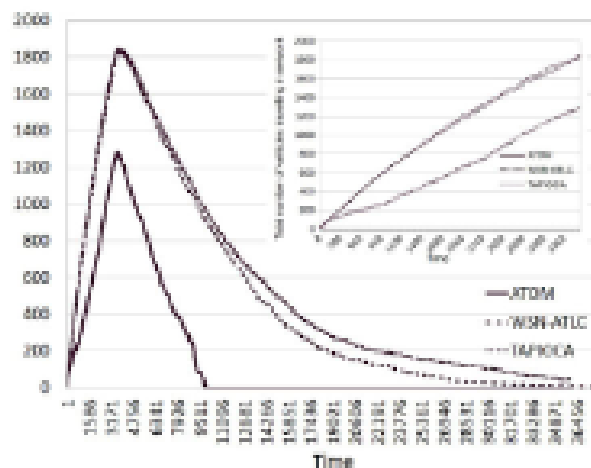
а)



б)



в)



г)

3-сурет. АБОТ өнімділігін бір жолға 5 жолақты желілік желіде салыстыру (а) қызмет көрсету жылдамдығы, (б) орташа күту уақыты, (в) тоқтатылған көліктердің орташа саны және (г) қалыпты жүргізу жылдамдығы

Бағдаршамның бағытталған жұмысы сигнал беру уақытын анықтау кезінде бір немесе бірнеше қиылыстар қарастырылатынына байланысты екі санатқа бөлуге болады. Бір қиылысу үшін мақсат жасыл сигналды оңтайлы жоспарлау болып табылады. Мысалы traf C жарық реттегіші қиылыста келе жатқан көліктердің баратын соңғы нүктесі анықталады; жасыл шамды жоспарлаудың екі стратегиясы ұсынылады, атап айтқанда, орташа күту/жол жүру уақытын қысқарту мақсатында межелі жерге дейінгі аз орташа қашықтық болады. Екі тәсіл де негізінен нақты уақыт режиміндегі трафикке негізделген қашықтықтың кешігуін азайтуға бағытталған. Сонымен қатар, бүкіл

сапар барысында аялдамалардың жалпы санын азайтуға және осылайша шығарындыларын азайтуға бағытталған.

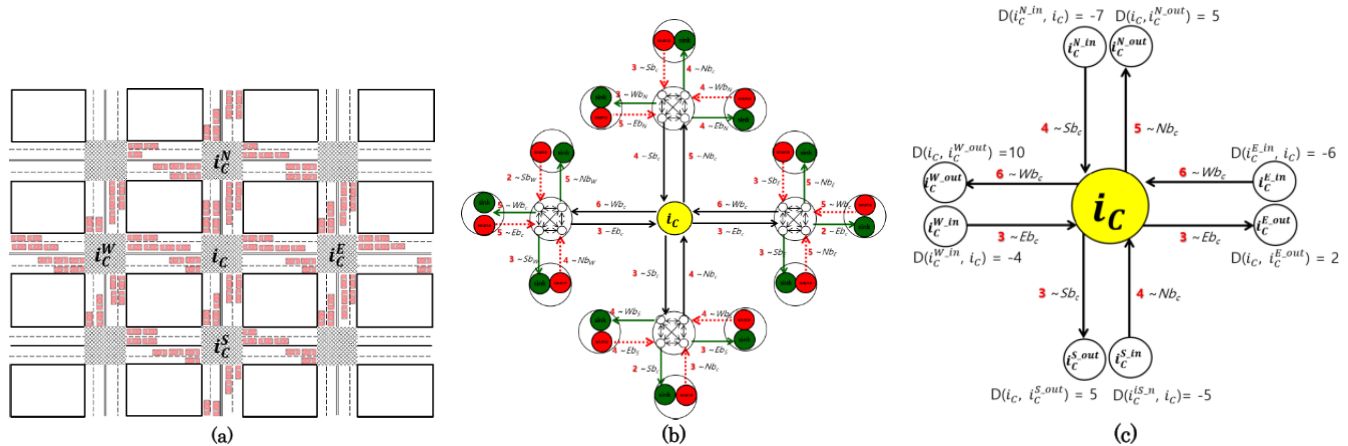
Мақалада traf C реттеу кезінде бірнеше көршілес бөлімдер қарастырылды. Мысалы, ережеге негізделген вертикалды дайындалған, көршілес қиылыстардың қозғалыс шамдары жергілікті деңгейде үйлестірілген. Жұмыс кеңейтілген [11,12] аймақтық деңгейде қосымша иерархиялық бақылаушы/контроллер компоненті ұсынылды. Сонымен қатар, traf C жарық жүйелеріне көп агент негізіндегі алгоритмдер қолданылды [13]. IEEE 802.15.4 технологиясы мен динамикалық фазалары арқылы өзара байланысқан және бұрылыстар-

ды факторинг кезінде жасыл уақытты есептейтін бірнеше анық емес логикалық контроллерлерді пайдалану жолдары анықталды. Траф С көлемінің өзгеруін бақылау үшін сенсорларды пайдаланады, соның негізінде олар бөлінген көп агентті жүйені пайдаланып N_d көлік құралының жүру кезіндегі ең қысқа жасыл шамдар, қиылыстарда күту уақыты бойынша азайтылады. Көп агентті арматураны оқыту алгоритмдері [14] пайдаланып, мұнда жергілікті және жақын қиылыстардың реакциялары траф С шамдарының уақытын реттеу үшін қарастырылады, бұл тәсілдер жоғары есептеу күрделілігін қажет етіп қабылдайды.

Бұл мақалада біз нақты уақыт режимінде жи-

налған қозғалыс жағдайын ескере отырып, мақсатты қиылыстағы бағдаршам шамдарын бақылау арқылы сигналдың максималды жылдамдығын арттыруға тырыстық. Біз жол желісін $gd(V; E)$ бағытталған графигі арқылы желісі ретінде ұсынамыз, мұндағы V қиылыстарды қамтиды, яғни, E жол сегменттерінен, яғни арасындағы бағытталған жиектерден тұрады. G негізінде біз бақыланатын бағдаршамды ұсынамыз.

Қиылыстағы көліктердің қозғалыс бағытын біле отырып, төрт бағыттың әрқайсысынан i -ге қанша көлік кіретінін? Мысалы, 4(b) суретте көрсетілген i -ге кіретін 12 көліктің ішінде жеті көлік i -ге қарай жүруі керек деп болжануда.



4-сурет. Қиылыстағы көліктердің қозғалыс бағыттары

TFM максималды бүтін санға дейін азайтылуы ағынының проблемасы шешіледі. Оң жақ қиылыстағы қозғалыс ағынын бағытталған график түрінде ұсынылған ағындық желіге салыстыруға болады. $GD(V, E)$, V және E -қиылыстар арасындағы қиылыстар мен жол сегменттерінің жиынтығы, тиісінше, (b) тармағында көрсетіледі. (c) бөлігінде V -2- V кіретін Немесе шығатын қозғалыс көлемі, Сондай-ақ әрбір 2 жол сегментінде жасыл шамды күтетін қозғалыс көлемі қосымша көрсетіледі.

Зерттеу нәтижелерін талқылау. Траф С жарық фазасы мен ұзақтығын реттеу арқылы i -ге байланысты көліктің жалпы Траф С көлемін барынша арттыруға тырысады. Біз жаяу жүргіншілерді қарастырмайтындықтан, оңтайландыру

процедурасы жаяу жүргіншілердің i -де жолдарды кесіп өтуі үшін ең аз жасыл уақытты есептемейді.

Сонымен қатар, автомобиль жүргізушілерге арналған көліктерді, сондай-ақ өзін-өзі басқаратын көліктерді қарастырады; біріншісі үшін жеке көліктің қозғалыс бағытын жүргізуші әр қиылыста, мысалы, $v2i$ технологияларын пайдалану арқылы немесе жүргізушінің ұялы телефонындағы қолданба арқылы қамтамасыз етеді деп болжанады.

Қорытынды. Бұл мақалада біз бағдаршам, жаңа траф с басқару алгоритмін ұсындық. Адаптивті басқару әрбір қиылыста кіретін с уақыт көлемі есептелінді, сонымен қатар көлік құралдарының әрбір уақыт үшін келесі жол сегментінің кептеліс жағдайы тандалды. Содан кейін

бағдарламаларға сәйкес жарық фазаларын және олардың ұзақтығын көрші қиылыстармен бірлесе отырып реттейді. Сонымен қатар, тәжірибеге үлестірілген немесе орталықтандырылған түрде қолдануға болады. Нақты жол желілерін қолдана отырып, ауқымды модельдеу тәжірибелері арқылы тексеріледі. Модельдеу нәтижелері жол өткізу қабілеттілігін, көлік құралын күтудің орташа уақытын және бәсекелес схемаға сәйкес көлік аялдамаларының орташа санын жақсартатынын көр-

сетті. Негізінде, көбірек көліктердің жол желісі арқылы өтуіне мүмкіндік береді және олардың жүру уақытын қысқартады, бұл тіпті жоғары кептеліс жағдайында да көбірек көліктердің қозғалуына көмектеседі. Осылайша, мұндай қондырғыдағы жолдың әртүрлі кептеліс жағдайларында айқын өнімділігі оның тиімділігіне әсер етеді және іс жүзінде тиімді екендігінің нақты дәлелі ретінде қарастырылады.

Әдебиеттер

1. Бадагуев Б.Т. Эксплуатация транспортных средств (организация и безопасность движения). – М.: Альфа-Пресс, 2012. – 240 с. ISBN 978-5-94280-556-2
2. Дудко Н.И., Петровец В.Р., Бершадский В.Ф. Безопасность движения механических транспортных средств: пособие – Горки: БГСХА, 2014. – 237 с. ISBN 978-985-467-490-2
3. Блинкин М.Я. Безопасность дорожного движения: история вопроса, международный опыт, базовые институты. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2013. – 240 с. ISBN: 978-5-7598-1086-5
4. Волков В.С. Электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин: учебное пособие – М.: Академия, 2010. – 208 с. ISBN 978-5-7695-5749-1
5. Горев, А. Э. Основы теории транспортных систем: учебное пособие / А. Э. Горев; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 214 с. ISBN 978-5-9227-0266-9
6. Майборода М.Е., Беднарский В.В. Грузовые автомобильные перевозки. – М.: Феникс, 2008. – 442 с. ISBN 978-5-222-14364-3
7. Клиновштейн Г.И. Организация дорожного движения: учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247. ISBN 9785277022405
8. Урыков В.А., Зеленина Л.И. Модели транспортного инфраструктурного комплекса // <https://web.snauka.ru/issues/2014.18.06.2020>.
9. Морозов И.И. и др. Численное исследование транспортных потоков на основе гидродинамических моделей // Компьютерные исследования и моделирование. – 2011. – Т. 3, №4. – С. 389-412.
10. Буслаев А.П., Новиков А.В., Приходько В.М. и др. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения. – М.: Мир, 2003. – 368 с. ISBN 9785030036465

References

1. Badaguev B.T. Jekspluatacija transportnyh sredstv (organizacija i bezopasnost' dvizhenija). – М.: Al'fa-Press, 2012. – 240 s. ISBN 978-5-94280-556-2 [in Russian]
2. Dudko N.I., Petrovec V.R., Bershadskij V.F. Bezopasnost' dvizhenija mehanicheskikh transportnyh sredstv: posobie – Gorki: BGSXA, 2014. – 237 s. ISBN 978-985-467-490-2 [in Russian]
3. Blinkin M.Ja. Bezopasnost' dorozhnogo dvizhenija: istorija voprosa, mezhdunarodnyj opyt, bazovye institucii. – М.: Izd. dom Vysshej shkoly jekonomiki, 2013. – 240 s. ISBN: 978-5-7598-1086-5 [in Russian]
4. Volkov V.S. Jelektrooborudovanie transportnyh i transportno-tehnologicheskikh mashin: uchebnoe posobie – М.: Akademija, 2010. – 208 s. ISBN 978-5-7695-5749-1 [in Russian]

5. Gorev, A. Je. Osnovy teorii transportnyh sistem: uchebnoe posobie / A. Je. Gorev; SPbGASU. – SPb., 2010. – 214 s. ISBN 978-5-9227-0266-9 [in Russian]
6. Majboroda M.E., Bednarskij V.V. Gruzovye avtomobil'nye perevozki. – M.: Feniks, 2008. – 442 s. ISBN 978-5-222-14364-3 [in Russian]
7. Klinkovshtejn G.I. Organizacija dorozhnogo dvizhenija: uchebnik dlja vuzov. – 5-e izd., pererab. i dop. – M: Transport, 2001 – 247. ISBN 9785277022405
8. Urykov V.A., Zelenina L.I. Modeli transportnogo infrastrukturnogo kompleksa // <https://web.snauka.ru/issues/2014.18.06.2020>. [in Russian]
9. Morozov I.I. i dr. Chislennoe issledovanie transportnyh potokov na osnove gidrodinamicheskikh modelej // Komp'juternye issledovaniya i modelirovanie. – 2011. – T. 3, №4. – S. 389-412. [in Russian]
10. Buslaev A.P., Novikov A.V., Prihod'ko V.M. i dr. Verojatnostnye i imitacionnye podhody k optimizacii avtodorozhnogo dvizhenija. – M.: Mir, 2003. – 368 s. ISBN 9785030036465 [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

- Жаманғарин Д.С. – PhD, Қ.Құлажанов атындағы ҚазТБҰ, Астана, Қазақстан, e-mail: Dus_man89@mail.ru;
- Алтынбек С.А. - PhD, Қ.Құлажанов атындағы ҚазТБҰ, Астана, Қазақстан, e-mail: Asa@mail.ru;
- Тулегулов А.Д. - физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ.Құлажанов атындағы ҚазТБҰ, Астана, Қазақстан, e-mail: tad62@ya.ru;
- Акишев К.М.-техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ. Құлажанов атындағы ҚазТБҰ, Астана, Қазақстан, e-mail: akmail04@mail.ru;
- Сапарходжаев Н.П. –Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

Information about the authors

- Zhamangarin D.S. – PhD, KazUTB named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: Dus_man89@mail.ru;
- Altynbek S.A. - PhD, KazUTB named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: Asa@mail.ru;
- Tulegulov A.D. – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, KazUTB named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: tad62@ya.ru;
- Akischev K.M. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, KazUTB named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: akmail04@mail.ru;
- Saparkhodjaev N.P. - EKSTU. Oskemen, Kazakhstan, e-mail: Sp90@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ӘЛЕУМЕТТІК МАҢЫЗЫ БАР АУРУЛАРДЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ДЕРЕКТЕРДІ ӨНДЕУ

¹Е.С.Кубегенов ✉, ¹А.Д. Кубегенова, ¹А.Г. Жахиена, ²Г.Ш. Утешева, ³А.В. Нестеров

¹Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, Орал, Қазақстан,

²Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан,

³Г. В. Плеханов атындағы Ресей экономикалық университеті, Мәскеу, Ресей

✉ Корреспондент-автор: erlando78@mail.ru

Қазіргі кезде интеллектуалды деректерді талдау көлемді деректер жиынтығынан құнды ақпаратты алудың негізгі құралы болып табылады. Бұл процесс жасырын үлгілерді, тенденцияларды және маңызды үлгілерді анықтауға мүмкіндік береді, бұл деректерді тереңірек түсінуге мүмкіндік береді және негізделген шешімдер қабылдауға көмектеседі. Қазіргі ақпараттық қоғамда деректерді өндіру медицина, биология, экономика және басқа да көптеген салаларда маңызды рөл атқарады. Оны қолдану адамдардың өмір сүру сапасын жақсартуға, процестерді оңтайландыруға және әртүрлі қызмет салаларында тиімді стратегияларды жасауға ықпал етеді.

Бұл мақалада деректерді интеллектуалды талдау әдістерін пайдалана отырып, Қазақстан Республикасында туберкулезбен сырқаттанған жәнеде қайтыс болғандардың динамикасы талданды. Республикамыздың 2010-2022 жылдар аралығындағы деректерге ретроспективті талдау жүргізілді, Statistica бағдарламалық жасақтама көмегімен және Data Mining әдістері мен математикалық модельдер қолданылып, туберкулездің таралуына әсер ететін негізгі факторлар анықталды. Статистикалық талдау жүргізуге, байланыстар мен корреляцияларды анықтауға, сондай-ақ аурудың болашақ дамуын болжауға мүмкіндік берді.

Сонымен қатар, зерттеу, ауруларды бақылау мен болжау мақсатында интеграцияланған ақпараттық жүйелерді дамытудың маңыздылығы анықталды. Бұл жүйелер деректерді жинау, өңдеу және сақтау процесін оңтайландырып, эпидемиологиялық қауіптерге жедел жауап беруге мүмкіндік береді. Мақалада туберкулез сияқты әлеуметтік маңызды ауруларды тиімді басқару үшін интеллектуалды талдау әдістерін болашақта қолдану талқыланды.

Түйін сөздер: болжау, интеллектуалды талдау, Data Mining, статистикалық талдау, эпидемиология, корреляция.

АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

¹Е.С. Кубегенов ✉, ¹А. Д. Кубегенова, ¹А.Г.Жахиена, ²Г.Ш. Утешева, ³А.В. Нестеров

¹Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан,

²Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Казахстан.

³Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия,

e-mail:erlando78@mail.ru

В настоящее время интеллектуальный анализ данных является основным инструментом для извлечения ценной информации из объемных наборов данных. Этот процесс позволяет выявлять скрытые закономерности, тенденции и важные закономерности, обеспечивая более глубокое понимание данных и помогая принимать обоснованные решения. В современном информационном обществе интеллектуальный анализ данных играет важную роль в медицине, биологии, экономике и многих других областях. Его использование способствует улучшению качества жизни людей, оптимизации процессов и разработке эффективных стратегий в различных сферах деятельности.

В данной статье проанализирована динамика заболевших и умерших туберкулезом в Республике Казахстан с использованием методов интеллектуального анализа данных. Проведен ретроспективный анализ данных республики за период 2010-2022 гг. с использованием программного обеспечения Statistica, методов Data Mining и математических моделей, выявлены основные факторы, влияющие на распространение туберкулеза. Позволил провести статистический анализ, выявить связи и корреляции, а также предсказать будущее развитие болезни.

Кроме того, была выявлена важность разработки интегрированных информационных систем с целью исследований, мониторинга и прогнозирования заболеваний. Эти системы позволяют оперативно реагировать на эпидемиологические угрозы, оптимизируя процесс сбора, обработки и хранения данных. В статье обсуждалось использование методов интеллектуального анализа в будущем для эффективного управления социально значимыми заболеваниями, такими как туберкулез.

Ключевые слова: прогнозирование, интеллектуальный анализ, Data Mining, статистический анализ, эпидемиология, корреляция.

ANALYSIS OF SOCIALLY SIGNIFICANT DISEASES AND DATA PROCESSING USING INTELLIGENT TECHNOLOGIES

¹E.S. Kubegenov✉, ¹A.D. Kubegenova, ¹A.G.Zhakhien, G.Sh. Utesheva², ³A.V.Nesterov

¹Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan,

²West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Kazakhstan,

³Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia,

e-mail: erlando78@mail.ru

Currently, data mining is the main tool for extracting valuable information from large datasets. This process allows you to identify hidden patterns, trends, and important patterns, providing a deeper understanding of the data and helping you make informed decisions. In the modern information society, data mining plays an important role in medicine, biology, economics and many other fields. Its use contributes to improving the quality of people's lives, optimizing processes and developing effective strategies in various fields of activity.

This article analyzes the dynamics of tuberculosis cases and deaths in the Republic of Kazakhstan using data mining methods. A retrospective analysis of the republic's data for the period 2010-2022 was carried out using the Statistica software and using Data Mining methods and mathematical models, the main factors influencing the spread of tuberculosis were identified. It allowed to carry out statistical analysis, identify connections and correlations, as well as predict the future development of the disease.

In addition, the importance of developing integrated information systems for the purpose of research, monitoring and forecasting of diseases was identified. These systems allow you to quickly respond to epidemiological threats, optimizing the process of data collection, processing and storage. The article

discussed the use of intellectual analysis methods in the future for the effective management of socially significant diseases such as tuberculosis.

Keywords: forecasting, intelligent analysis, Data Mining, statistical analysis, epidemiology, correlation.

Кіріспе. Мақалада Қазақстан Республикасындағы жұқпалы аурулардың мониторингі мен талдауы үшін медицинадағы деректерді интеллектуалды талдау әдістері қарастырылған. Зерттеу нысаны ретінде статистикалық шолудан 13 жылдағы (2010-2022) туберкулезбен сырқаттанушылық көрсеткіштері алынды. Туберкулезден айыққан және қайтыс болған науқастардың санын қамтитын ретроспективті талдау жүргізілді.

Data Mining технологиясын және StatisticaBase, StatisticaAdvanced, Data Mining деректерді өндіру құралдары және SANN автоматтандырылған нейрондық желілерін қамтитын Statistica бағдарламалық пакетін пайдалана отырып, үлкен деректерге бөлек талдау жүргізілді.

Коэффициентті есептеу және ретроспективті талдау арқылы корреляцияны қолданудың практикалық маңыздылығы мен өзектілігі қазіргі ақпараттық қоғамдағы мәліметтер мен оларды талдау нәтижелерінің маңыздылығымен расталады.

Алынған нәтижелер туберкулез ауруының таралу динамикасын жақсы түсінуге және оны алдын ала болжауға мүмкіндік береді.[1]

Қазақстан Республикасында туберкулез сияқты әлеуметтік маңызы бар ауруларды талдаудың өзектілігі осы аурулардың халықтың денсаулығы мен қоғамдық әл-ауқатына елеулі әсеріне байланысты.

Туберкулез ауруын бақылау, емдеу алдын алу жолдары жүргізілгенмен, елдегі сырқаттанушылық пен өлім-жітімнің басты себептерінің бірі болып қала береді. Туберкулездің жоғары таралуы эпидемияны уақтылы анықтау және алдын алу үшін тиімді бақылауды, талдауды және болжауды қажет етеді, бұл жалпы денсаулық сақтау жүйесін жақсартуға ықпал етеді.

Зерттеу жұмысына қойылған мақсаттар:

1. 2010 жылдан 2022 жылға дейінгі кезеңде Қазақстан Республикасында туберкулезбен сырқаттанушылық пен өлім-жітімге ретроспективті талдау жүргізу.

2. Деректерді өндіру әдістерін қолдана отырып, туберкулез ауруын алдағы жылдарға таралу динамикасын болжау.

3. Туберкулездің таралуына әсер ететін негізгі факторларды анықтау.

4. Туберкулездің алдын алу және емдеу стратегияларын оңтайландыру бойынша ұсыныстар әзірлеу.

Зерттеу жұмысында кездескен мәселелер:

1. Туберкулездің алдын алу мен емдеудің қазіргі стратегияларының тиімділігінің жеткіліксіздігі, бұл жоғары сырқаттанушылық пен өлімге әкеледі.

2. Туберкулезді тиімдірек бақылау үшін оңтайландыруды қажет ететін шектеулі Денсаулық сақтау ресурстары.

3. Туберкулездің жасырын түрлерінің болуы, бұл науқастарды уақтылы анықтау мен емдеуді қиындатады.

4. Деректерді интеллектуалды өңдеудің заманауи әдістерін қамтитын эпидемиологиялық жағдайды талдау мен болжауға кешенді көзқарастың болмауы.

Зерттеу барысында күтілетін нәтижелерін атап өтсек:

1. 2010-2022 жылдар аралығындағы туберкулезбен сырқаттанушылық және өлім-жітім динамикасын талдау, негізгі үрдістер мен өзгерістерді анықтау.

2. Статистикалық талдау мен деректерді интеллектуалды өңдеу әдістерін пайдалана отырып, туберкулездің таяу жылдарға таралуын болжау.

3. Эпидемиологиялық жағдайға әсер ететін негізгі факторларды және олардың ауру мен өлімге әсерін анықтау.

4. Туберкулездің алдын алу және емдеу стратегияларын оңтайландыру үшін ұсыныстар әзірлеу, бұл ауру мен өлімді азайтуға және денсаулық сақтау ресурстарын тиімдірек пайдалануға ықпал етеді.

Бүгінгі таңда медицинадағы басқару мәселелерін шешу үшін математикалық модельдеу әдістері, интеллектуалды тәсіл және интеллектуалды талдау жиі қолданылады, бұл бір неше шешімдердің нұсқасын алуға, қабылданған шешімдердің салдарын болжауға және оларды медициналық және әлеуметтік тұрғыдан бағалауға көмектеседі.[2]

Эксперименттік мәліметтер квадратының статистикалық көрсеткіштерден ауытқуы математикалық модельдегі параметрлерді сәйкестендірудің кері есептерінің функциясының төмендеуін білдіреді. Статистикалық және оңтайландыру алгоритмдерінің жиынтығын пайдалану параметрлерді салыстырмалы 30% дәлдікпен салыстыруға қол жеткізуге мүмкіндік береді. Бұл нәтижелер Денсаулық сақтау ұйымдары үшін пайдалы болуы мүмкін, бұл модельдеу деректерін тарихи деректермен салыстыру арқылы белгілі бір аймақтағы жұқпалы аурулардың эпидемиясын болжауға мүмкіндік береді.

Жасанды интеллект-бұл аталған мәселелерді шешуге арналған, бірақ өзіндік ерекшеліктерімен ерекшеленетін информатика саласы. Жұқпалы ауруларды автоматты түрде анықтауға негізделген көптеген зерттеулер бар туберкулез, АИТВ инфекциясы, COVID-19 және басқа вирустар симптомдарға немесе әртүрлі белгілерге негізделген.

Компьютерлік және ақпараттық технологиялардың, сондай-ақ сақтау технологияларының қарқынды дамуымен көптеген деректерді сақтауға болады [3].

Деректерді өндіру технологиясы көптеген деректерден әлеуетті құнды білімді іздей және ала алады. Деректер базасының технологиясы-бұл мәліметтер базасын басқаратын бағдарламалық жасақтама туралы ғылым. Деректер базасынан алынған мәліметтер деректерді құрылымдау, жобалау және қолдану әдістерін зерттеу арқылы талданады.[4]

Деректерді өндіру деректер үлгісін іздеу процесі ретінде анықталады, яғни толық емес, анық емес, кездейсоқ деректердің үлкен санынан алынған деректермен жұмыс істеу. [5]

Деректерді өндіру-бұл мәліметтер базасы мен жасанды интеллект саласындағы өте белсенді зерттеу саласы.[6]

Деректерді компьютерлік интеллектуалды талдау технологиясын әзірлеуге және қолдануға көп көңіл бөлу керек, өйткені деректерді өндіру технологияларын қолдана отырып, біз тұрақты дамуға ықпал ететін тиімді стратегияларды біріктіреміз.[7]

Эпидемиологияның математикалық моделінің мысалы (АИТВ-ның коинфекциясы және туберкулез) математикалық модельдердің сәйкестігін зерттеуді көрсетеді. [8]

Айнымалыларды математикалық анықталатын және біртекті ішкі жиындарға көпөлшемді жіктеу көбінесе мәліметтер жиынтығына ресми статистикалық талдау жасамас бұрын үлгіні танудың пайдалы алғашқы қадамы болып табылады. Осындай әдістердің бірі, кластерлік талдау, жалпы сипаттамалары мен деректер құрылымы бар объектілерді кластерлеудің негізгі мақсатын көздейді. Мысалы, мұндай талдаудың мақсаттарының бірі-жаңа деректерді оңай жіктеу үшін топқа жататындығын анықтау үшін маңызды айнымалылар туралы түсінік алу; сонымен қатар, кластерленген объектілермен байланысты айнымалыларды статистикалық талдауды жеңілдету үшін белгілі бір жалпы сипаттамалары бар мәліметтер жиынтығын жасау керек.[9]

Data Mining технологиясы бойынша эпидемиологиялық жағдайды талдау, болжау және алдын ала анықтау жүргізу, өйткені қазіргі уақытта Қазақстанда медициналық ақпаратты талдау үшін статистика әдістерін қолдану жеткілікті кең таралмаған.

Туберкулезге қарсы қызмет жүйесіне деректерді компьютерлік өңдеуді енгізе отырып, ауру туралы кешенді ақпаратты уақтылы жинақтау эпидемиологиялық қадағалауды ақпараттық қамтамасыз ету деңгейін арттыруға мүмкіндік береді.

Өлім саны бойынша туберкулез, АИТВ/ЖИТС және безгек сияқты аурулар әлі де жетекші орында.

Туберкулез (туберкулез) (латын тілінен

tuberculum – туберкулез) – денсаулығының нашарлауының негізгі себебі болып табылатын кең таралған жұқпалы ауру, дүние жүзіндегі өлімнің 10 негізгі себебінің бірі. Микобактерия тұқымдасының қышқылға төзімді бактериясы туберкулездің қоздырғышы болып табылады. Жалпы, қазіргі уақытта микобактериялардың 74 түрі белгілі.

Жұқтырған адамның денесінде туберкулез қоздырғыштарының белгілі бір тұрақты саны бар (жасырын күй), яғни олар негізінен лимфа түйіндерінде локализацияланған және иммунитетпен тұрақты динамикалық тепе-теңдік күйінде болады. Туберкулездің маңызды ерекшелігі-жасырын кезеңнің орташа ұзақтығы өмір сүру ұзақтығымен салыстырылады, яғни адам бүкіл өмірін жасырын жұқтырған кезде өткізе алады. Алайда, жаңадан жұқтырған адамдардың шамалы бөлігі әлі де белсенді ауру жағдайына ауысады.[10]

Жыл сайын миллиондаған адамдар туберкулезбен ауырады. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (ДДҰ) 2012 жылғы жаһандық есебі туберкулез эпидетін жан-жақты және өзекті бағалауды және жаһандық, аймақтық және әлемдік деңгейдегі жауапты шаралардағы прогресті қамтиды.

Жаһандық есеп туберкулезбен сырқаттанушылық пен өлім-жітім үрдістерін, көп дәріге төзімді туберкулезді, ТБ/АИТВ, туберкулездің алдын алу, денсаулық сақтау қызметтерімен жалпы қамту, сондай-ақ қаржыландыру жағдайларын анықтау және емдеу нәтижелері туралы деректерді қамтиды. Онда 2018 жылы Біріккен Ұлттар Ұйымының туберкулез жөніндегі бас Ассамблеясының жоғары деңгейдегі бірінші отырысында белгіленген мақсаттарға, сондай-ақ ДДҰ-ның туберкулезге қарсы күрес Стратегиясының мақсаттарына және тұрақты даму мақсаттарына (ТДМ) қол жеткізудегі прогресс көрсетілген.[11]

Қазақстан Республикасы Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымымен 2016-2020 жылдарға арналған ТБ МЛА ауыртпалығы жоғары елдер тізіміне енгізілген, сондықтан осы жұқпалы аурумен күрес стратегиялық міндет болып қала береді және ҚР ДСМ қызметіндегі басым бағыт болып табылады.

Қазақстан Республикасында туберкулез сияқты әлеуметтік маңызы бар ауруларды талдаудың өзектілігі осы аурулардың халықтың денсаулығы мен қоғамдық әл-ауқатына елеулі әсеріне байланысты. Туберкулез оны бақылау мен емдеуге тырысқанына қарамастан, елдегі ауру мен өлімнің жетекші себептерінің бірі болып қала береді. Туберкулездің таралуы эпидемияны уақтылы анықтау және алдын алу үшін тиімді бақылауды, талдауды және болжауды қажет етеді, бұл жалпы денсаулық сақтау жүйесін жақсартуға ықпал етеді.

Материалдар мен әдістер. С. Қайырбеков атындағы денсаулық сақтауды дамытудың ұлттық ғылыми орталығынан «Қазақстан Республикасы халқының денсаулығы және денсаулық сақтау ұйымдарының қызметі» статистикалық жинақтан 2010 - 2022 жылдар аралығындағы туберкулезбен ауырған, қайтыс болғандығы, бациллярлық есептен шығарылғандығы туралы мәліметтер алынды. [12]

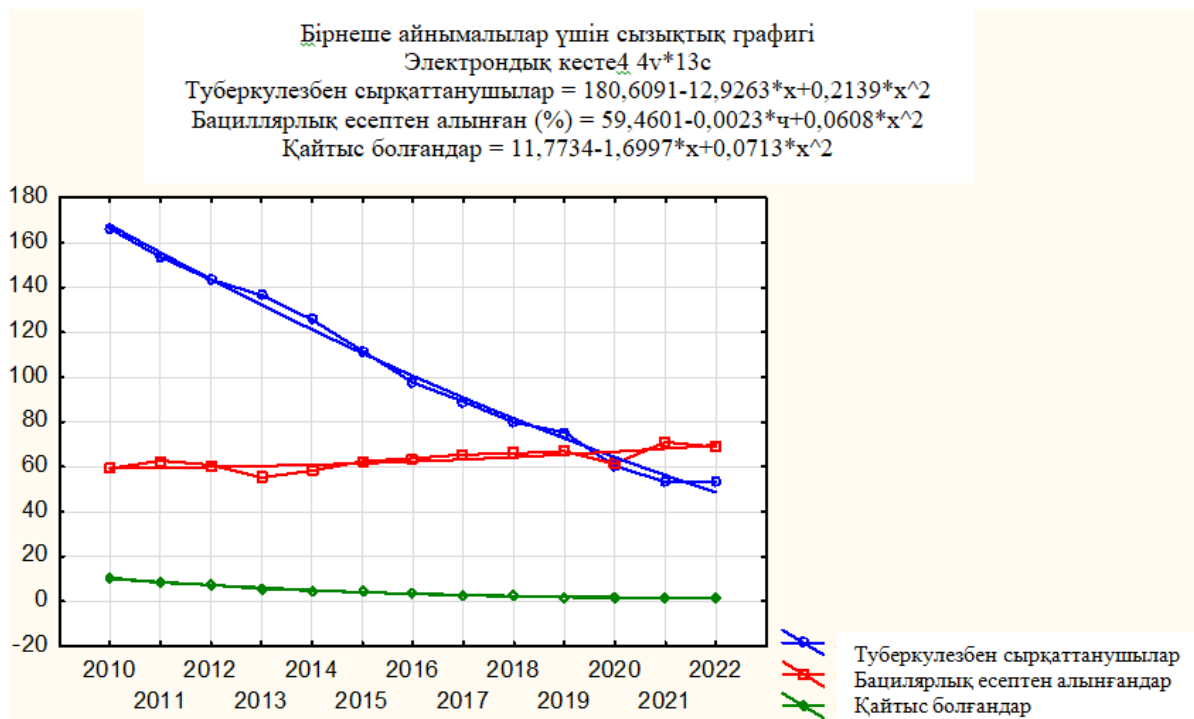
Қазақстан Республикасының 2010-2022 жылдар аралығында алынған деректерге туберкулезбен сырқаттанған, бациллярлық есептен шығарылған және қайтыс болған туралы мәліметтер бойынша (1-сурет) ретроспективті талдау жүргізіліп, әрбір көрсеткіш бойынша өзгерістердің негізгі аспектілері мен ықтимал себептерін қарастырдық.

Сызықтық кестеде туберкулезбен ауыратын науқастар (көк сызық) аурушандық 2010 жылдан бері тұрақты түрде төмендеп келетіні байқалады. Бұған келесі факторлар ықпал еткенін көруге болады:

1) соңғы жылдары елімізде туберкулезді ерте диагностикалау мен емдеу бағдарламаларын қолданып едәуір жақсарғаны. Химиотерапияның қысқа курстары сияқты жаңа емдеу әдістерін қолдану аурудың төмендеуіне әсер еткен болуы .

2) алдын алу шараларын күшейту, соның ішінде БЦЖ (Bacillus Calmette-Guérin) жаппай вакцинациялау және санитарлық-ағарту жұмыстарын жүргізу де аурудың төмендеуіне ықпал еткен болуы.

3) туберкулезбен күресуге бағытталған халықаралық көмек бағдарламалары ауруды төмендетуде маңызды рөл атқарғаны байқалады.



1-сурет. Қазақстан Республикасының туберкулезбен сырқаттанушылығының 2010-2022 жылдар аралығындағы динамикасы

Аурудың сызықтық кестесі (1 сурет) туберкулез (науқастардың, қайтыс болғандардың саны және науқастарды бациллярлық есептен шығару) Қазақстан Республикасының халқы бойынша 12 жылдық кезеңнің жиынтық деректері ескеріле отырып 2010-2022 жылдар аралығында қарастырылды. Абсцисса осі бойынша туберкулезбен ауыратын науқастарды зерттеу жылдары кейінге қалдырылды, координаттар осі бойынша абсолютті сандар (халықтың 100 000 адамға шаққанда).

Бұл диаграмма 2010 - 2013 жылдар аралығында аурушандық бойынша тұрақты үрдісті көрсетті. Нәтижесінде 2014 жылдан бастап аурушандықтың өсуі екі есе нашарлағанын көріп тұрмыз.

Жалпы республика бойынша сырқаттанушылықтың төмендеуі байқалғанымен, туберкулез жана қасиеттерге ие болды. Науқастарда туберкулез қоздырғышының дәріге төзбеушілігі және дәріге төзімділігі тұрақты байқалады (1-сурет).

Жоғарыда көрсетілген кестелерді қарастырсақ, 2010 жылдан бастап туберкулезбен сырқаттанушылық көрсеткіштерінің күрт төмендегенін бірден байқауға болады, бірақ 2012 – 2015 жылдар, 2016-2021 жылдар аралығында қалыпты өрлеу мен құлдырау анықталуда. Сырқаттанушылық жағдайларының, бұл күрт төмендеуі елдің туберкулезді инфекциялық бақылау шаралары, емдеу, диагностика сапасы бойынша жаңа бағыттарға көшуімен байланысты және туберкулездің алдын алу болып табылады.

Туберкулезді алдын алу, мәселесін шешу үшін эпидемияның болжамды ықтимал ошағы үлкен рөл атқарады. Сондықтан болжау жүйесін құру немесе математикалық модельдерді қолдану негіздері бұрыннан қолданғанмен интеллектуалды жүйелерді пайдалану маңызды болып келеді. Белгілі бір аймақты нақты және дәл сипаттайтын модельді таңдау жасау[13].

Кесте 1. Сипаттамалық статистика нәтижелері

Айнымалы	Сипаттамалық статистика				
	жарамды N	Орташа	Минимум	Максимум	Стандартты анықтама
Туберкулезбен сырқаттанушы	13	103,6000	53,30000	166,3000	38,90180
Бациллярлық есептен алынды (%)	13	63,2769	55,30000	71,1000	4,40854
Қайтыс болған	13	4,3692	1,40000	10,6000	2,89349

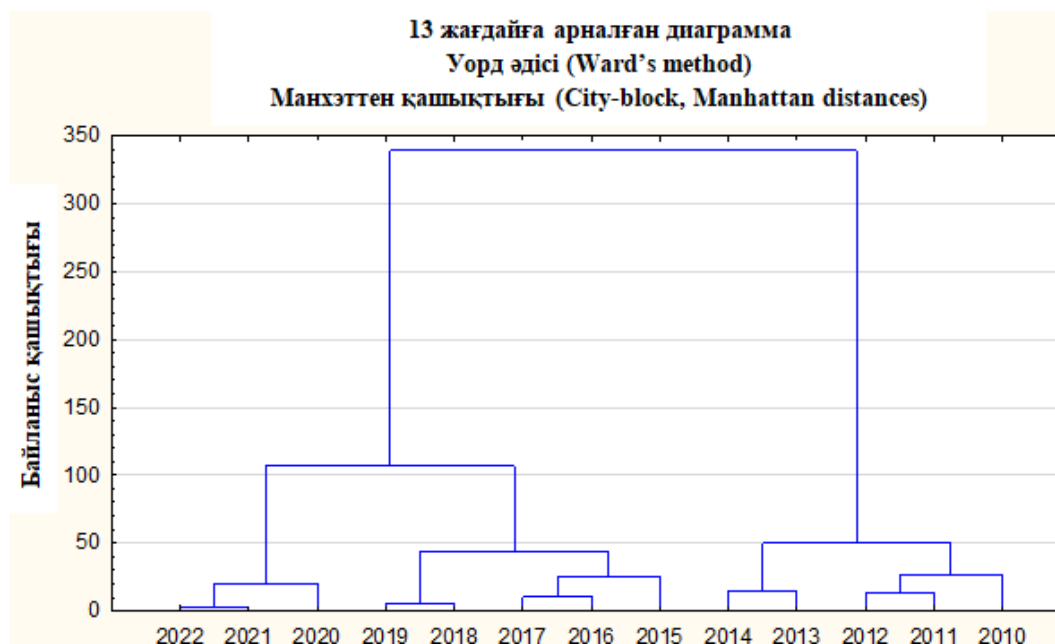
2010-2022 жылдар аралығының кезеңінде туберкулезбен сырқаттанушылықтың сипаттамалық статистикасын талдау негізінде мынадай тұжырымдар жасауға болады:(2-сурет)

- туберкулез ауруының орташа жиілігі 103,6000 жағдайды құрайды (халықтың 100 000 адамға шаққанда)
- ең төменгі мәні туберкулезбен сырқаттанушылық 53,30000(халықтың 100 000 адамға шаққанда), туберкулезбен сырқаттанушылықтың ең жоғары деңгейі 166,30 000(халықтың 100 000 адамға шаққанда) құрайды - бұл зерттеу кезеңінде туберкулезбен сырқаттанушылықтың айтарлықтай өзгергені көрсетеді;
- аурудың стандартты ауытқуы 38,90180

бұл орташа мәнге қатысты мәндердің таралуын көрсетеді. Стандартты ауытқудың үлкен мәні деректердің айтарлықтай өзгергіштігін көрсетеді;

- бациллярлық есептен шығару (яғни туберкулезден айыққан немесе қайтыс болған науқастардың саны) орташа мәні 63,2769, ең төменгі мәні 5,30000 және ең жоғары мәні 71,1000 құрайды. Бұл пациенттердің көпшілігі туберкулезден сәтті емделетінін көрсетеді, бірақ өлім жағдайы да бар;

- Туберкулезден болатын өлім-жітімнің орташа мәні 4,3692, ең төменгі мәні 1,40000 және ең жоғары мәні 10,6000 – бұл туберкулезден болатын өлім-жітімнің бар екендігін көрсетеді.



2-сурет. Қазақстан Республикасының 2010-2022 жылдар кезеңінде туберкулезбен сырқаттанушылық жөніндегі Дендрограмма

Негізінде сипаттамалық статистиканың нәтижелері туберкулезбен сырқаттанушылықтың өзгергіштік деңгейі жоғары екенін көрсетеді, сондай-ақ осы аурудан сырқаттанушылық пен

өлім-жітімді төмендету шараларын қабылдау қажеттігін көрсетеді.

Деректерді өңдеуге, визуализациялауға және иерархиялық кластерлеуді орындау үшін жиі қолданылатын бағдарламалардың бірі Statistica болып келеді. Осы бағдарлама арқылы деректерді ұқсастығына немесе айырмашылығына қарай топтастыру үшін Уорд әдісі (Ward's method) және Манхэттен қашықтығы (City-block, Manhattan distances) сияқты әртүрлі кластерлеу әдістерін қолданылды. Статистикадағы Дендрограмма зерттеушілерге күрделі уақыт қатарларын визуализациялауға және талдауға және анықталған деректер негізінде ақпараттандырылған шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Дендрограммада (Сурет 2) көлденең осьта 2010 және 2022 жылдар аралығындағы кезеңінде туберкулезбен сырқаттанғаны көрсетілген, ал тігінен – бірігу қашықтығын білдіреді. Бүкіл кезең екі үлкен кластерге бөлінеді: 2010-2014 жылдар және 2015-2022 жылдар. Бұл екі кезеңдегі туберкулезбен сырқаттанушылық туралы мәліметтер бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленетінін көрсетіп тұр.

1 кластерде 2021-2022, 2019-2020, және 2015-2018 кіші топтарға бөлінген

Соңғы 2021 және 2022 жылдар жеке кіші топты құрайды, бұл осы кезеңдегі аурудың ерекше динамикасын көрсетіп тұрғанын көреміз, мүмкін соңғы жылдары қабылданған шаралармен немесе есептіліктің өзгеруімен байланысты. 2019 және 2020 жылдар да бөлек топтастырылған, бұл

COVID-19 пандемиясының осы кезеңдегі туберкулез статистикасына әсерін көрсетуі деп білеміз

2 кластер 2010-2014 жылдар аралығы көрсеткіштері тұрақтылықты көрсетіп тұр.

Дендрограмма туберкулезбен ауыру динамикасында, әсіресе 2014-2015 жылдар аралығында айтарлықтай өзгерістердің болуын болжайды, бұл емдеу стратегияларының, Денсаулық сақтау саясатының немесе басқа сыртқы факторлардың өзгеруіне байланысты болуы мүмкін. Соңғы жылдардағы кіші топтар (2019-2022) талдау үшін ерекше назар аударуды қажет етеді, өйткені олар ауру динамикасындағы жаңа бағытты көрсете алады.

Бұл деректер белгілі бір кезеңде туберкулез ауруының мұндай өзгеруіне не себеп болуы мүмкін екенін жақсы түсіну үшін қосымша талдау үшін қажет етеді.

Statistica бағдарламасында жасалған дендрограмма нақты математикалық модельдерге негізделген иерархиялық деректер кластерінің визуализациясы болып табылады. Бұл дендрограмма кластерлерді біріктіру үшін Уорд әдісін және деректер арасындағы қашықтықты есептеу үшін Манхэттен қашықтығын (City-block, Manhattan distances) пайдаланады.[14]

Оларды бөлек талдап көрегің болсақ:

Уорд әдісінің (Ward's method) (формула2) мақсаты кластерлерді біріктірудің әрбір қадамында жалпы кластерішілік дисперсияның ұлғаюын азайту.

$$\Delta E = \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y}_2)^2 - \sum_{k=1}^{n_1+n_2} (z_k - \bar{z})^2 \quad (1)$$

Бұндағы:

n_1 және n_2 - 1 және 2 кластерлердегі элементтер саны.

x_i және y_i - 1 және 2 кластер элементтері

\bar{x}_1 және \bar{y}_2 - 1 және 2 кластерлер бойынша орташа мәндер.

z_k - біріктірілген кластер элементтері.

\bar{z} - біріктірілген кластердің орташа мәні.

Уорд әдісінің (Ward's method) мақсаты ΔE азайту болып келеді бұл екі кластерді біріктіру кезінде

кластер ішіндегі дисперсияның өзгеруін білдіреді..

Манхэттен қашықтығы (City-block, Manhattan distances) (формула 2) әдістің мақсаты: жылдар арасындағы ұқсастықтарды есептеу үшін қолданылатын көп өлшемді кеңістіктегі екі нүкте арасындағы қашықтықты анықтау болып табылады.

$$d(i, j) = - \sum_{k=1}^n |x_{ik} - x_{jk}| \quad (2)$$

Бұндағы:

$d(i, j)$ - Манхэттеннің нүктелер арасындағы қашықтығы i және j

x_{ik} және x_{jk} - i және j нүкте координаттарының k өлшемі

n - өлшеу саны

Манхэттен қашықтығы (City-block, Manhattan distances) әр өлшемдегі нүктелердің координаттары арасындағы жалпы абсолютті айырмашылықты өлшейді.

Дендрограмманың жалпы моделі:

1. Кластерлеудің әр кезеңінде екі кластер таңдалады, олардың арасындағы қашықтық Манхэттен метрикасы бойынша минималды. Содан кейін бұл кластерлер біріктіріліп, процедура барлық нысандар бір кластерде болғанша қайталанатын.

2. Біріктіру процесі Уорд әдісі (Ward's method) қолдану арқылы қол жеткізілетін кластерішілік дисперсияның ұлғаюын азайту үшін жүреді.

Осылайша, дендрограмма кластер ішіндегі дисперсияны азайту және Манхэттен метрикасы бойынша қашықтықты есептеу негізінде кластерлерді дәйекті біріктіру процесінің графикалық көрінісі болып табылады.

Нәтижелер мен талқылау. Бұл зерттеу туберкулез сияқты ауруларды бақылау және талдау саласына маңызды үлес қосады. Деректер мен математикалық модельдерді қолдану аурудың динамикасын түсінуге ғана емес, сонымен қатар аурудың таралуына әсер ететін факторларды анықтауға мүмкіндік береді. Деректерді жинауды, өңдеуді және талдауды автоматтандыруға қабілетті интеграцияланған ақпараттық жүйелерді дамыту ауруларды тиімді бақылау мен бақылаудың негізгі элементі болып табылады. Зерттеу қоғамдық денсаулық пен халықтың өмір сүру сапасын жақсарту үшін деректерді өндіру саласындағы жұмыстарды жалғастырудың маңыздылығын көрсетеді.

Туберкулез сияқты әлеуметтік маңызы бар аурулардың мониторингінде деректерді интеллектуалды талдауды қолдану оның болашақ даму үшін маңыздылығы мен әлеуетін көрсетеді. Data Mining математикалық модельдері мен әдістеріне

негізделген зерттеу 2010-2022 жылдар аралығында Қазақстан Республикасында туберкулезбен сырқаттанушылықтың динамикасын терең түсіну мүмкіндіктерін көрсетеді, бұл мақсатты профилактикалық және емдік іс-шараларды әзірлеуге ықпал ететін үрдістер мен ықпал ететін факторларды анықтайды. Деректерді интеллектуалды талдау сырқаттанушылықтың динамикасын көзбен көріп, болжап қана қоймай, сонымен қатар халықтың көші-қоны, өмір сүру деңгейі, медициналық қызмет көрсету деңгейі, медициналық қызмет көрсету шығындары сияқты сырқаттанушылық пен басқа да әлеуметтік маңызы бар факторлар арасында байланыс орнатуға, түрлі аймақтар бойынша талдау жүргізуге мүмкіндік береді.

Демек, ауру деректерін автоматтандырылған бақылау мен талдауға арналған интеграцияланған ақпараттық жүйені әзірлеу және енгізу қажеттілігі туындайды.

Мұндай жүйе талдау және болжау құралдарын ұсына отырып, деректерді жинауды, өңдеуді және сақтауды жақсартуға уәде береді, бұл ауру деңгейін тиімдірек төмендетуге және эпидемиологиялық қауіптерге жауап беруге мүмкіндік береді.[15]

Алдын ала талдау жоспарланған ақпараттық жүйе мынадай блоктардан тұруы тиіс екенін көрсетті: деректерді қабылдау, тазарту, трансформациялау; деректер қоймасы; деректерді статистикалық талдау блогы; деректерді интеллектуалды талдау блогы; болжамдарды қалыптастыру блогы; есептерді қалыптастыру блогы; деректерді визуализациялау блогы.

Зерттеудің маңыздылығы: деректерді жинау, өңдеу және талдау процестерін автоматтандырудың қоғамдық денсаулық сақтауды жақсартудағы маңыздылығын айқын көрсетеді. Интеграцияланған ақпараттық жүйелердің көмегімен үлкен көлемдегі деректерді тиімді басқару және талдау аурудың таралу динамикасын жақсы түсінуге мүмкіндік береді. Мұндай жүйелер нақты уақыттағы эпидемияларды анықтау және алдын алу үшін аса қажет.

Зерттеу нәтижесінде 2010-2022 жылдар аралығында туберкулездің таралуы бойынша деректерге негізделген болжау жасалды. Data Mining және статистикалық әдістері туберкулезбен сырқаттанушылықтың болашақ динамикасын анықтауға және соған сәйкес алдын алу шараларын жоспарлауға мүмкіндік береді. Мысалы, 2020-2022 жылдардағы дендрограмма мен графиктерде көрінген ауру деңгейінің өзгерістері емдеу және алдын алу шараларының тиімділігін көрсетті.

Алынған нәтижелер 2010-2022 жылдардағы туберкулезбен сырқаттанушылық пен өлім-жітім динамикасында айтарлықтай төмендеу байқалғанын көрсетеді. Сырқаттанушылықтың төмендеуі денсаулық сақтау жүйесінде жүргізілген алдын алу және емдеу шараларының тиімділігін көрсетсе, өлім-жітімнің төмендеуі тиімді емдеу шараларының нәтижесі болуы мүмкін.

Деректерді интеллектуалды өңдеу арқылы аурудың таралуына әсер ететін негізгі факторлар

анықталды. Бұл факторлар туберкулездің аймақтық ерекшеліктеріне, халықтың әлеуметтік-экономикалық жағдайына және медициналық ресурстардың қолжетімділігіне байланысты болуы мүмкін. Туберкулездің таралуын болжау және негізгі факторларды анықтау болашақта мақсатты профилактикалық іс-шараларды ұйымдастыруға ықпал етеді. Бұл алынған мәліметтерді емдеу стратегияларын жетілдіру үшін қолдануға болады.

Зерттеу барысында жасалған математикалық модельдер мен статистикалық әдістер Қазақстан Республикасында туберкулездің өршігу динамикасын тереңірек түсінуге мүмкіндік берді. Деректерді интеллектуалды өңдеу нәтижесінде алынған нәтижелер туберкулездің өршігуге әсер ететін негізгі факторларды анықтап қана қоймай, оның болашақта қалай жетілуінің болжауға көмектеседі. Бұл ауруды бақылау және алдын алу шараларын жетілдіру үшін маңызды ақпарат болып табылады. Туберкулездің таралуын болжау бойынша алынған нәтижелер денсаулық сақтау жүйесіне орасан зор үлес қосып, оның қоғамдық денсаулыққа әсерін азайтуға мүмкіндік береді.

Қорытынды. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасында 2010-2022 жылдар аралығындағы туберкулезбен сырқаттанушылықтың динамикасын талдау арқылы әлеуметтік маңызы бар ауруларды бақылаудың заманауи әдістерінің маңыздылығын көрсетіп, деректерді интеллектуалды өңдеу мен математикалық модельдеу әдістерін қолдану барысында туберкулез аурудың таралуын, оның өлім-жітім көрсеткіштерін және емдеу нәтижелерін болжауға мүмкіндік берді.

Зерттеу барысында туберкулездің өршігу динамикасын талдау үшін деректер арасындағы айырмашылықтарды анықтау үшін, Манхэттен қашықтығы(City-block, Manhattan distances) және Уорд (Ward's Method) кластерлеу әдістері қолданылып объектілер арасындағы айырмашылықтарды бірқатар факторлар бойынша өлшеуге мүмкіндік берді. Нәтижесінде, туберкулезбен сырқаттанушылықтың әртүрлі жылдардағы деңгейлерінің ұқсастығы мен айырмашылықтары анықталды.

Ал, Уорд әдісі (Ward's Method) кластерлеуді

жүргізу барысында топтар арасындағы дисперсияны минимизациялау принципіне негізделіп, деректерді ұқсас топтарға біріктіру арқылы жылдар арасындағы корреляцияны айқындап, туберкулездің өршігу үрдістерін көрсететін иерархиялық құрылымдарды жасауға мүмкіндік берді.

Нәтижесінде, белгілі бір жылдар арасындағы сырқаттанушылықтың өзара ұқсастықтары анықталып, дендрограммада құрылды.

Уорд әдісі (Ward's Method) мен Манхэттен қашықтығын (City-block, Manhattan distances) қолдану эпидемиологиялық деректерді топтастыруда және оларды талдауда тиімді әдіс ретінде маңызды рөл атқаратыны, туберкулез ауруының өршігуі бойынша динамикалық өзгерістерді айқындауға, әртүрлі жылдардағы сырқаттанушы-

лардың көрсеткіштерінің ұқсас кезеңдерін анықтауға және оларды болашақта болжау үшін қолдануға болатыны дәлелденді деуге болады.

Алынған нәтижелер денсаулық сақтау жүйесіне стратегиялық шешімдер қабылдауда нақты негізі болып, эпидемиологиялық жағдайды тиімді басқаруға ықпал етеді.

Бұл әдістер эпидемияларды уақтылы анықтау, тиімді бақылау және олардың әсерін азайту үшін денсаулық сақтау жүйесін оңтайландыруға көмектеседі.

Қорытындылай келе, туберкулездің таралуын болжау мақсатында заманауи әдістерді қолдану Қазақстандағы қоғамдық денсаулықты жақсарту және осы аурумен күрестің тиімділігін арттыру үшін маңызды қадам болып табылады.

Әдебиеттер

1. Кубегенова А., Исаков К., Кубегенов Е., Криворотько О. Мониторинг и моделирование эпидемиологической ситуации с помощью интеллектуального анализа данных // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. -№ 4(2022). –С. 43-55. DOI: <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1726.155>
2. Юнкеров В.И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / В.И. Юнкеров, С.Г. Григорьев. – СПб.: ВМедА, 2002. – 266 с. ISBN 5-94277-011-5
3. Барсегян А. А. С. Куприянов, И. И. Холод, М. Д. Тесс, С.И. Елизаров Анализ данных и процессов: учеб. пособие /– 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009– 512 с. ISBN 978-5-9775-0368-6
4. Xinyi Wang. The Role of Data Mining Technology in Advertising Marketing // J. Phys.: Conf. Ser. -2021. –Vol. 1744(4). DOI: 10.1088/1742-6596/1744/4/042202
5. Jianguo Liu & Sheng Zhou Application Research of Data Mining Technology in Personal Privacy Protection and Material Data Analysis // Integrated Ferroelectrics. -2021. –Vol.216. –P. 29-42. DOI: 10.1080/10584587.2021.1911255
6. He, Wu, Gongjun Yan, and Li Da Xu. Developing vehicular data cloud services in the IoT environment //IEEE transactionsonindustrialinformatics. -2014. –Vol. 10(2). -P. 1587-1595. DOI:10.1109/TII.2014.2299233
7. Peña-Ayala, Alejandro Educational data mining: A survey and a data mining-based analysis of recent works // Expertsystemswith applications. -2014. –Vol.41(4). –Vol.1432-1462. DOI:10.1016/j.eswa.2013.08.042
8. Zhenhua HUANG, Zhenyu WANG, Li JIANG, Rui ZHANG, Chang LEI, Xingwei LIU, Xiaohui XIE Analysis of COVID-19 spread characteristics and infection numbers based on large-scale structured case data // Scientia Sinica Informationis. -2020–Vol. 50(12). DOI:10.1360/SSI-2020-0029
9. Cross C. L. Statistical and methodological considerations when using cluster analysis in neuropsychological research //Cluster analysis in neuropsychological research: Recent applications. – New York, NY : Springer New York, 2013. –Vol. 25(5). – P. 13-35. DOI:10.1007/978-1-4614-6744-1_2

10. Мельниченко О.А., Романюха А.А. Модель эпидемиологии туберкулеза. Анализ данных и оценка параметров // Математическое моделирование. – 2008. – №8. – С.107-128.
URL: <https://www.mathnet.ru/links/8eaf4b16128064394600eb860acd44ba/mm2678.pdf>
11. Генеральная Ассамблея. Организация Объединенных Наций.
<https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n23/306/93/pdf/n2330693.pdf>
12. Национальный научный центр развития здравоохранения имени С.Каирбекова. Статистические сборники «Здоровье населения Республики Казахстан и деятельность организаций здравоохранения».
https://nrchd.kz/index.php/ru/?option=com_content&view=article&id=973
13. Kubegenova, A.D., Zhakhiena, A.G., Baigubenova, S.K., Utyasheva, G.S., Omarov, A.N. Clustering and data mining on the example of hiv-infected people data // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. -2022. –Vol.100 (13). -P. 5010-5018.URL: <https://jatit.org/volumes/Vol100No13/30Vol100No13.pdf>
14. King R. S. Cluster analysis and data mining: An introduction. – Mercury Learning and Information, 2015. ISBN 978-1-938549-38-0
15. Kubegenova A.D., Kamalova G.A., Kubegenov, E.S., Gumarova, Z.M., Zhazykbaeva, G.M. Using Data Mining Technology in Monitoring and Modeling the Epidemiological Situation of the Human Immuno deficiency Virus in Kazakhstan // Information Technologies and Intelligent Decision-Making Systems. -2022. -Vol 1703. –P. 57-65. DOI:10.1007/978-3-031-21340-3_6

References

1. Kubegenova A., Iskakov K., Kubegenov E., Krivorot'ko O. Monitoring i modelirovanie jepidemiologicheskoy situatsii s pomoshh'ju intellektual'nogo analiza dannyh // Izvestija NAN RK. Seriya fiziko-matematicheskaya. -№ 4(2022). –S. 43-55. DOI: <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1726.155> [in Russian]
2. Junkerov V.I. Matematiko-statisticheskaya obrabotka dannyh medicinskih issledovaniy / V.I. Junkerov, S.G. Grigor'ev. – SPb.: VMedA, 2002. – 266 s. ISBN 5-94277-011-5 [in Russian]
3. Barsegjan A. A. S. Kuprijanov, I. I. Holod, M. D. Tess, S.I. Elizarov Analiz dannyh i processov: ucheb. posobie /– 3-e izd., pererab. i dop. – SPb.: BHV-Peterburg, 2009– 512 s. ISBN 978-5-9775-0368-6 [in Russian]
4. Xinyi Wang. The Role of Data Mining Technology in Advertising Marketing // J. Phys.: Conf. Ser. -2021. –Vol. 1744(4). DOI: 10.1088/1742-6596/1744/4/042202
5. Jianguo Liu & Sheng Zhou Application Research of Data Mining Technology in Personal Privacy Protection and Material Data Analysis // Integrated Ferroelectrics. -2021. –Vol.216. –P. 29-42. DOI: 10.1080/10584587.2021.1911255
6. He, Wu, Gongjun Yan, and Li Da Xu. Developing vehicular data cloud services in the IoT environment // IEEE transactionsonindustrialinformatics. -2014. –Vol. 10(2). -P. 1587-1595. DOI:10.1109/TII.2014.2299233
7. Peña-Ayala, Alejandro Educational data mining: A survey and a data mining-based analysis of recent works // Expertssystemswith applications. -2014. –Vol.41(4). –Vol.1432-1462. DOI:10.1016/j.eswa.2013.08.042
8. Zhenhua HUANG, Zhenyu WANG, Li JIANG, Rui ZHANG, Chang LEI, Xingwei LIU, Xiaohui XIE Analysis of COVID-19 spread characteristics and infection numbers based on large-scale structured case data // Scientia Sinica Informationis. -2020–Vol. 50(12). DOI:10.1360/SSI-2020-0029

-
9. Cross C. L. Statistical and methodological considerations when using cluster analysis in neuropsychological research // Cluster analysis in neuropsychological research: Recent applications. – New York, NY : Springer New York, 2013. – Vol. 25(5). – P. 13-35. DOI:10.1007/978-1-4614-6744-1_2
10. Mel'nichenko O.A., Romanjuha A.A. Model' jepidemiologii tuberkuleza. Analiz dannyh i ocenka parametrov // Matematicheskoe modelirovanie. – 2008. – №8. – S.107-128.
URL: <https://www.mathnet.ru/links/8eaf4b16128064394600eb860acd44ba/mm2678.pdf> [in Russian]
11. General'naja Assambleja. Organizacija Ob#edinennyh Nacij.
<https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n23/306/93/pdf/n2330693.pdf> [in Russian]
12. Nacional'nyj nauchnyj centr razvitiya zdavoohranenija imeni S.Kairbekova. Statisticheskie sborniki «Zdorov'e naselenija Respubliki Kazahstan i dejatel'nost' organizacij zdavoohranenija».
URL:https://nrchd.kz/index.php/ru/?option=com_content&view=article&id=973 [in Russian]
13. Kubegenova, A.D., Zhakhiena, A.G., Baigubenova, S.K., Utyasheva, G.S., Omarov, A.N. Clustering and data mining on the example of hiv-infected people data
// Journal of Theoretical and Applied Information Technology. -2022. –Vol.100 (13). -P. 5010-5018.
URL: <https://jatit.org/volumes/Vol100No13/30Vol100No13.pdf>
14. King R. S. Cluster analysis and data mining: An introduction. – Mercury Learning and Information, 2015. ISBN 978-1-938549-38-0
15. Kubegenova A.D., Kamalova G.A., Kubegenov, E.S., Gumarova, Z.M., Zhazykbaeva, G.M. Using Data Mining Technology in Monitoring and Modeling the Epidemiological Situation of the Human Immuno deficiency Virus in Kazakhstan // Information Technologies and Intelligent Decision-Making Systems. -2022. -Vol 1703. –P. 57-65. DOI:10.1007/978-3-031-21340-3_6

Information about the authors

Kubegenov E.S. – Senior Lecturer, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: erlando78@mail.ru;

Kubegenova A.D. – Senior Lecturer, Master's degree, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: aigul-03@mail.ru;

Zhakhiena A.G. - Senior Lecturer, Master's degree, Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: aizatmail@mail.ru;

Utesheva G.Sh.- Senior Lecturer, Master's degree, West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: utesheva.gulnara@mail.ru;

Nesterov A.V.- Ph.D., Professor Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia, e-mail: nesterov.av@rea.ru

Сведения об авторах

Кубегенов Е.С. – старший преподаватель, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан, e-mail: erlando78@mail.ru;

Кубегенова А. Д. – старший преподаватель, магистр Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, e-mail: aigul-03@mail.ru;

Жахиена А.Г.- старший преподаватель, магистр, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан, e-mail: aizatmail@mail.ru;

Утешева Г.Ш.-старший преподаватель, магистр, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Казахстан, e-mail: utesheva.gulnara@mail.ru;

Нестеров А.В. - д.ф.м.н., профессор, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,

Москва, Россия, e-mail: nesterov.av@rea.ru

МЕДИЦИНА САЛАСЫНДА КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУ ӘДІСТЕРІНІҢ НЕГІЗІНДЕ ГРАФИКАЛЫҚ АҚПАРАТТЫ ӨНДЕУ

Ж.С. Есенгалиева✉, **Ж.О. Оралбекова, М.К. Турарова**

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

✉Корреспондент-автор: jannayess@gmail.com

Мақалада медициналық бейнелерді талдауда қолданылатын сегменттеу әдістері сипатталған. Магниттік резонансты томография және компьютерлік томография кескіндерін талдауда қолданылатын шекті мәндер, классификация, кластерлеу, Марков желілері, нейрондық желілер, деформацияланатын модельдер сияқты әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылады. Денсаулық сақтау саласында компьютерлік көруді пайдалана отырып, графикалық деректерді өндеуге арналған бағдарламалық қамтамасыз ету технологиясын әзірлеу процесі ұсынылған. Әзірленген жүйені жобалау және модельдеу кезеңдері сипатталған. Кескінді сегменттеу арқылы деректерді өндеу диагностикалық дәлдікке және қолданба пайдаланушылары арасындағы тығыз өзара әрекеттесуге ықпал етеді. Сондай-ақ, қолданбалар бұлтында зерттеу көлемін сақтауға мүмкіндік беретін дерекқор және кроссплатформалық қосымша жасалды. Құрылған мобильді қосымшаны толық тестілеу жүргізілді. Денсаулық сақтау саласында медициналық кескінді сегменттеу дәлірек диагноз қою және пациенттің диагнозын одан әрі тексеру үшін барған сайын қажетті функцияға айналуға. Сондықтан түрлі ауруларды дер кезінде анықтаудың арқасында ол неғұрлым ұтымды әрі мақсатты емделуде, халықтың өмір сүру сапасын жақсартуда кеңінен пайдаланылмақ. Қолданбаны әзірлеу кезінде графикалық деректерді талдауды жеңілдететін Open CV, Tensorflow, PyTorch кітапханаларды қолдану арқылы деректерді өндеу жүргізілді.

Түйін сөздер: компьютерлік көру, OpenCV, Tensorflow, сегментация, графикалық деректерді өндеу.

ОБРАБОТКА ГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В СФЕРЕ МЕДИЦИНЫ

Ж.С. Есенгалиева✉, **Ж.О. Оралбекова, М.К. Турарова**

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

e-mail: jannayess@gmail.com

В статье описаны методы сегментации, используемые при анализе медицинских изображений. Рассмотрены преимущества и недостатки таких методов как пороговые значения, классификация, кластеризация, Марковские сети, нейронные сети, деформируемые модели, используемых при анализе изображений магнитно-резонансной томографии и компьютерной томографии. Представлен процесс разработки программной технологии обработки графических данных с использованием компьютерного зрения в сфере здравоохранения. Описаны этапы проектирования и моделирования разработанной системы. Обработка данных посредством сегментации изображений способствует точности диагностирования и тесного взаимодействия между пользователями приложения. Также создана база данных и кроссплатформенное приложение, позволяющее хранить объем исследований в

облаке приложений. Проведено полное тестирование созданного мобильного приложения. В сфере здравоохранения сегментация медицинских изображений становится все наиболее необходимой функцией для более точной диагностики и дальнейшей верификации диагноза пациента, а потому, благодаря своевременному выявлению различных заболеваний, будет широко использоваться для более рационального и целенаправленного лечения, улучшающее качество жизни населения. При разработке приложения обработка данных осуществлялась с помощью таких библиотек, как OpenCV, Tensorflow, PyTorch, которые способствуют анализу графических данных.

Ключевые слова: компьютерное зрение, OpenCV, Tensorflow, сегментация, обработка графических данных.

PROCESSING OF GRAPHIC DATA BASED ON COMPUTER VISION METHODS IN THE FIELD OF MEDICINE

Zh.S. Yessengaliyeva✉, Zh.O. Oralbekova, M.K. Turarova

L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan,

e-mail: jannayess@gmail.com

The article describes segmentation methods used in the analysis of medical images. The advantages and disadvantages of such methods as threshold values, classification, clustering, Markov networks, neural networks, deformable models used in the analysis of magnetic resonance imaging and computed tomography images are considered. The process of developing software technology for processing graphic data using computer vision in the healthcare sector is presented. The stages of design and modeling of the developed system are described. Data processing through image segmentation promotes diagnostic accuracy and close interaction between application users. A database and cross-platform application have also been created that allows you to store a volume of research in the application cloud. Full testing of the created mobile application was carried out. In the healthcare sector, medical image segmentation is becoming an increasingly necessary function for more accurate diagnosis and further verification of the patient's diagnosis, and therefore, thanks to the timely detection of various diseases, it will be widely used for more rational and targeted treatment, improving the quality of life of the population. When developing the application, data processing was carried out using libraries such as OpenCV, Tensorflow, PyTorch, which facilitate the analysis of graphical data.

Keywords: computer vision, OpenCV, Tensorflow, segmentation, processing of graphic data.

Кіріспе. Компьютерлік көру айналасындағы заттарды қабылдауға, жіктеуге, тануға және жауап беруге мүмкіндік береді. Медициналық кескінді өңдеу, іздеу мен талдауды жеңілдету үшін өңделмеген кескіндерді өлшенетін символдық пішінге түрлендіру, диагностикаға көмектесу үшін мәнді сандық ақпаратты алу және көптеген кескіндеу әдістерінен қосымша деректерді біріктіру үшін пайдалы. Медициналық кескінді талдаудың іргелі мәселелерінің бірі кескіндердегі органдар немесе қалыптан тыс аймақтар (мысалы, ісіктер) сияқты объектілердің шекараларын анықтайтын

кескін сегментациясы болып табылады. Сегменттеу нәтижесінің болуы пішінді талдауға, көлемнің өзгеруін анықтауға және дәл сәулелік терапия жоспарына мүмкіндік береді.

Жақында медициналық кескіндерді сегментациялау әдебиетінде бірнеше жалпы әдістер пайда болды [1]. Сегменттеу әдістерін келесі санатқа бөлеміз: шекті мән тәсілдері, аймақты кеңейту тәсілдері, жіктеуіштер, кластерлеу тәсілдері, Марковтың кездейсоқ өріс модельдері (MRF), жасанды нейрондық желілер, деформацияланатын модельдер, атласқа негізделген тәсілдер.

Шекті мән скалярлық кескіндерді кескін қарқындылығының екілік бөлінуін жасау арқылы бөлуге жақындайды. Шекті белгілеу процедурасы қажетті сыныптарды бөлетін шекті деп аталатын қарқындылық мәнін анықтауға тырысады. Содан кейін сегментацияға барлық пикселдерді шекті мәннен асатын бір сыныпқа, ал қалған пикселдерді басқа сыныпқа топтастыру арқылы қол жеткізіледі. Бірнеше шекті мәнді анықтау – бұл бірнеше шекті деп аталатын процесс. Шекті мән көбінесе суретті өңдеудің реттілігінде бастапқы қадам ретінде қолданылады. Сонымен қатар, шекті мән әдетте кескіннің кеңістіктік сипаттамаларын ескермейді. Бұл оны магниттік-резонанстық бейнелерде пайда болатын шу мен қарқындылықтың гетерогенділігіне сезімтал етеді.

Аймақты кеңейту тәсілдері – бұл алдын ала анықталған критерийлерге негізделген кескін аймағын алу әдісі. Бұл өлшемдер кескіннің қарқындылығы немесе жиектері туралы ақпаратқа негізделуі мүмкін. Қарапайым түрде, ауданды ұлғайту үшін бастапқы нүкте қажет, оны оператор қолмен таңдайды және кейбір алдын ала анықталған критерийлер негізінде бастапқы мәнге байланысты барлық пикселдерді алады. Осылайша, өндірілетін әрбір аймақ үшін алғашқы нүкте алыну керек. Аймақтың ұлғаюы шуға да сезімтал болуы мүмкін, нәтижесінде алынған аймақтардың тесіктері болады немесе тіпті ажыратылады [2].

Жіктеуіштер әдістері - белгілі белгілері бар деректерді қолдана отырып, кескіннен алынған объектілердің кеңістігін бөлуге тырысатын үлгіні таңу әдістері. Нысандар кеңістігі – бұл кез-келген кескін функциясының ауқымы, ал объектілердің ең көп таралған кеңістігі – кескіннің қарқындылығы. Жіктеуіштер – бақылау әдістері деп аталады, өйткені олар оқу деректерін қолмен сегментациялауды қажет етеді және оны жаңа деректерді автоматты түрде сегментациялау үшін критерий ретінде пайдаланады. Ең қарапайым жіктеуіштер – бұл ең жақын көршінің классификаторы [3], онда әр пиксель жақын қарқындылықтағы жаттығу мәліметтерімен бірдей сыныпта жіктеледі. Тағы бір параметрлік емес классификатор – Parzen терезелері, онда жіктеу таңбаланған пик-

сельдің қарқындылығына негізделген объектілер кеңістігінің алдын ала анықталған терезесінде өлшенген шешім қабылдау процесі арқылы жүзеге асырылады. Стандартты жіктеуіштер сегменттелген құрылымдардың әртүрлі сандық сипаттамаларға ие болуын талап етеді.

Кластерлеу алгоритмдері оқу деректерін пайдаланбай, классификатор әдістерімен бірдей функцияны орындайды. Сондықтан оларды бақыланбайтын әдістер деп атайды. Оқу деректерінің жетіспеушілігін өтеу үшін кластерлеу әдістері кескінді сегментациялау [4] мен әр сыныптың қасиеттерін сипаттау арасында итеративті түрде ауысады. Әдетте қолданылатын үш кластерлік алгоритм – бұл негізгі құралдар немесе жарияланған алгоритм, анық емес с – орташа алгоритм және математикалық күтуді максимизациялау алгоритмі. Кластерлеу алгоритмдері оқыту деректерін қажет етпесе де, олар бастапқы сегментацияны қажет етеді. Алайда, кеңістіктік модельдеудің болмауы жылдам есептеу үшін айтарлықтай артықшылықтар бере алады. Кластерлеу алгоритмдерінің магниттік резонанс кескіндеріндегі қарқындылықтың гетерогенділігіне тұрақтылығын арттыру бойынша жұмыс үлкен жетістік көрсетті.

Марковтың кездейсоқ өріс модельдері (MRF) – бұл жергілікті корреляциялар кескіннің әртүрлі қасиеттерін модельдеу механизмін ұсынады [5]. Медициналық визуализацияда олар әдетте қолданылады, өйткені пикселдердің көпшілігі көрші пикселдермен бірдей сыныпқа жатады. Физикалық тұрғыдан алғанда, бұл тек бір пиксельден тұратын кез-келген анатомиялық құрылымның MRF болжамында пайда болу ықтималдығы өте төмен екенін білдіреді. MRF әдістері әдетте үлкен есептеу шығындарын алгоритмдерді қажет етеді. Осы кемшіліктерге қарамастан, MRF тек сегменттеу кластарын модельдеу үшін ғана емес, сонымен қатар, сандық маммограммаларды сегментациялау кезінде пайдалы магниттік-резонанстық суреттерде және текстуралық қасиеттерде пайда болатын қарқындылықтың гетерогенділігін модельдеу үшін кеңінен қолданылады.

Жасанды нейрондық желілер (ANNs - Artificial neural network) – биологиялық оқытуды еліктей-

тін өңдеу элементтерінің немесе түйіндердің параллель желілері. Оқыту түйіндер арасындағы қосылыстарға тағайындалған таразыларды бейімдеу арқылы жүзеге асырылады. Медициналық визуализацияда жіктеуіш ретінде кеңінен қолданылады, онда салмақ жаттығу деректерін қолдану арқылы анықталады, содан кейін ANN жаңа деректерді сегменттеу үшін қолданылады. Жасанды нейрондық желілер денсаулық сақтау саласында пайдалану бетті тексеру жүйесіне ұқсас. Денсаулық нейрондық желісі екі кіріс кескіннен тұрады, онда бірінші кескін таргетбокс ішінде, ал екіншісі үміткер кескін аймағы болып табылады. Шығару ретінде суреттер арасындағы ұқсастық дәрежесі талданады. Денсаулық сақтау желісінде барлық үміткерлерге әртүрлі кадрларда барудың қажеті жоқ. Оның орнына конволюциондық желіні пайдаланамыз және әрбір кескінді тек бір рет айналдыра аламыз [6]. Әрине, қазіргі әлемде нейрондық желілер адам қызметінің барлық салаларында кеңінен қолданылады, мысалы, мәтіндік деректердің үлкен көлемін өңдеуге байланысты проблемаларды талдайды және талдаудың тиімділігін арттыру үшін деректерді өңдеудің таратылған жүйелерін қолдану мүмкіндіктерін талқылайды [7].

Деформацияланатын модельдер – бұл ішкі және сыртқы күштердің әсерінен деформацияланатын жабық параметрлік қисықтарды немесе беттерді қолдана отырып, аймақтардың шекараларын анықтайтын физикалық модельдерге негізделген әдістер. Суреттегі объектінің шекарасын белгілеу үшін алдымен жабық қисық немесе бетті қалаған шекараның жанына қою керек, содан кейін оны итеративті релаксация процедурасынан өтуге мүмкіндік береді. Ішкі күштер деформация кезінде оны тегіс ұстау үшін қисықтың немесе беттің ішінен есептеледі. Сыртқы күштер әдетте кескіннен қисық сызықты немесе бетті қажетті қызығушылық объектісіне бағыттау үшін шығарылады. Деформацияланатын модельдер медициналық кескіндерді сегментациялауда кеңінен қолданылады. Деформацияланатын модельдер жүрек кескіндерін, компьютерлік томография кескіндеріндегі сүйектерді және ультрадыбысты сегментациялауда да қолданылды. Деформацияланатын модельдердің негізгі артық-

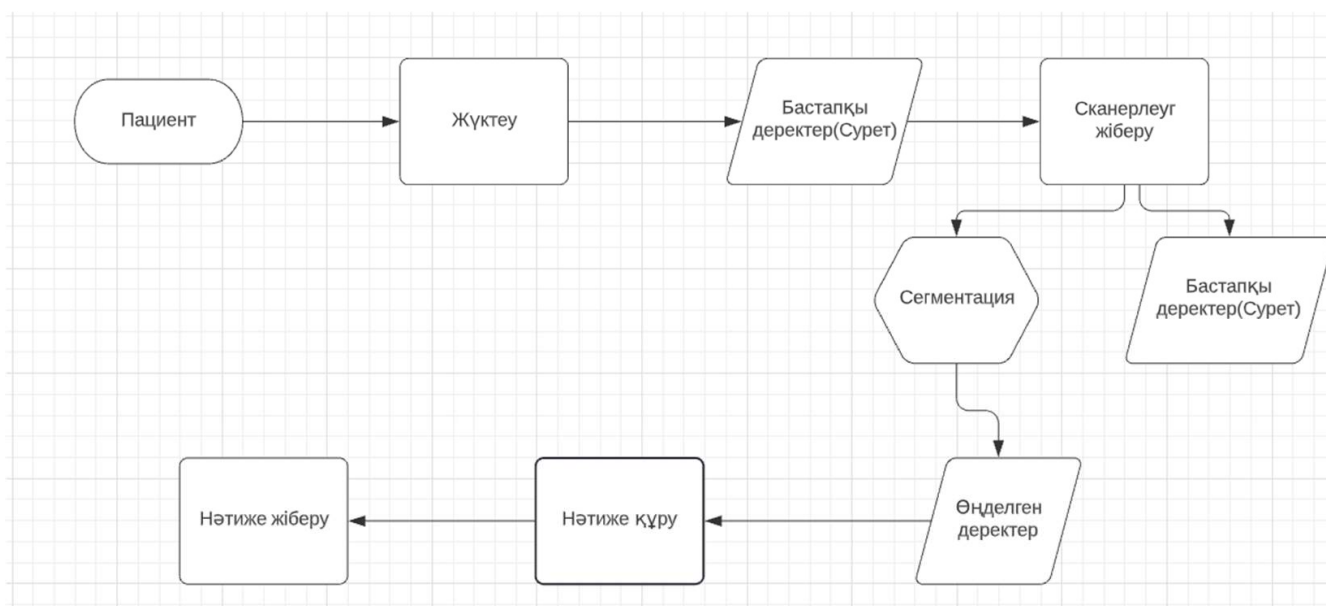
шылықтары – олардың кескіндерден жабық параметрлік қисықтарды немесе беттерді тікелей құру. Кемшілігі – олар бастапқы модельді орналастыру және тиісті параметрлерді таңдау үшін қолмен өзара әрекеттесуді қажет етеді [8].

Атласқа негізделген тәсіл стандартты атлас немесе шаблон болған кезде медициналық кескіндерді сегментациялаудың қуатты құралы болып табылады. Атлас – бұл сегментацияны қажет ететін анатомиялық құрылымдар туралы ақпарат жиынтығы. Содан кейін атлас жаңа суреттерді сегментациялау үшін анықтамалық негіз ретінде қолданылады. Атласқа негізделген тұжырымдамалық тәсіл классификаторға ұқсас, бірақ оны объект кеңістігінде емес, кескінің кеңістіктік аймағында жүзеге асырумен сипатталады. Атласқа негізделген тәсіл негізінен мидың МРТ кескіндерінде әртүрлі құрылымдарды сегментациялау және бас сканерлеу кезінде мидың көлемін анықтау үшін қолданылды. Атласқа негізделген тәсілдің артықшылығы – тегтер сегментация сияқты орнатылады. Ол морфологиялық сипаттамаларды зерттеудің стандартты жүйесін ұсынады. Атласқа негізделген тәсілдер зерттелетін популяцияда тұрақты болып табылатын құрылымдарды сегментациялауға жақсы сәйкес келеді.

Осылайша, компьютерлік көрудің сегменттеу әдістері медицина саласында анатомияны визуализациялаудың маңызды компоненті болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Зерттеушілер әртүрлі қосымшалар мен жобаларды компьютерлік көру мүмкіндіктерімен қамтамасыз ету үшін көптеген құралдар мен бағдарламалық кітапханаларды ойлап тапты. Зерттеу барысында сегментация әдісін қамитын OpenCV кітапханасы мен Tensorflow құрылымын пайдалануды таңдадық.

OpenCV кітапханасының негізгі мақсаты – өте күрделі қосымшаларда компьютерлік көру технологиясын қолдануды жеңілдетуге көмектесетін қарапайым интерфейсті ұсыну. Бұл кітапхана қолдайтын мүмкіндіктер денсаулық сақтау, қауіпсіздік, стерео көру және робототехника сияқты компьютерлік көрудің әртүрлі салаларын қамтиды. Сонымен қатар, OpenCV кітапханасында Matching Learning модулі бар [3].



1-сурет. Графикалық деректердің жүру картасы

TensorFlow міндеттерінің бірі – терең нейрондық желілерді енгізу және оқыту немесе суреттерді классификациялау және сегментациялау [9].

Медициналық қызмет көрсету саласында компьютерлік көруді пайдалана отырып, графикалық деректерді өңдеуге арналған бағдарламалық қамтамасыз ету технологиясын әзірлеу процесінде функционалдың жобалауы жүргізілді. Солардың ішінде класс, реттілік, күй және пайдалану жағдайларының диаграммалары құрылды. Әзірленген қосымшада екі негізгі қолданушы түрі бар: науқас және дәрігер. 1-суретте графикалық деректердің жүру картасы көрсетілген. Бастапқы деректер, яғни медициналық сурет «науқас» қолданушы арқылы жүйеге жүктеледі. «Дәрігер» қолданушы функционалдығы сегментация аймағына ие. Ол сәйкес парақшаға көшіп деректерді, яғни медициналық суретті сегментацияға арналған модуль арқылы суретті өңдейді. Өңделген деректер нәтиже құруға мүмкіндік береді. Деректер қорының негізгі кестелері бұл «қолданушылар» кестесі және де өңдеуге арналған «деректер» кестесі болып табылады. Әр «қолданушы» кестесіне арналған мәнге белгіле бір әдістер ие. Атап өтсек, бұл: `getImage()`; `setImage()`; `getResult()`; `download()`. Төменде, 2-суретте дизайн деңгейінде жүйені ұсынудың нұсқасы көрсетілген.

Жүйе келесі негізгі функционалдық блоктардан тұрады: тіркеу, аутентификация және авторизация, пайдаланушы үшін функционалдылық, функционал дәрігер, кескін сегментациясының функционалдығы, бетті тану кітапханасымен біріктіру функционалдығы, сканерлеу нәтижелері.

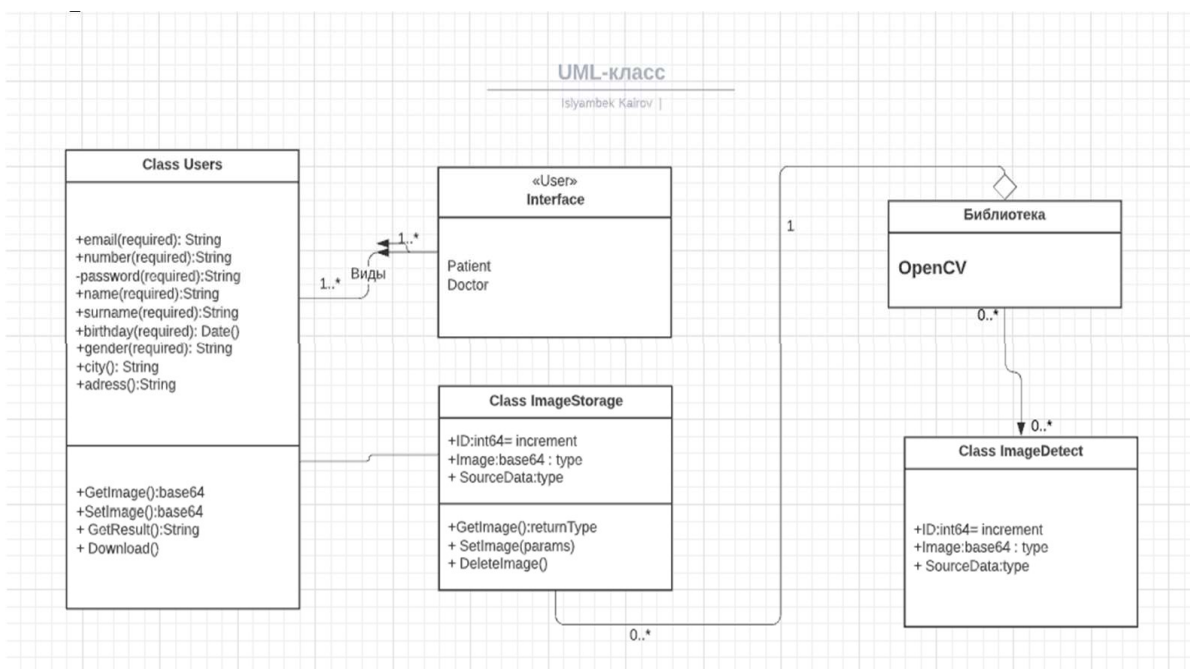
Жүйені іске асыру үшін келесі технологиялық стек ұсынылады.

Бэкенд: Язык NestJS, NodeJS, БД PostgreSQL.

Серверлік бөлім: Python, OpenCV, numpy.

Фронтенд: ReactNative, TypeScript.

Компьютерлік көруді жіктеудің жалпы проблемасы екі санатты (оқу деректер жинағы мен сынақ деректер жинағы) ажырату болып табылады. Әдетте компьютерлік көру тапсырмасы үшін істердің үлкен үлгісі пайдаланылды, бірақ бұл оқу үшін біздің деректер жинағы шамамен екіге бөлінген 59 кескіннен тұрады, оның 29-ы сынақ үшін және 30-ы оқыту үшін. Деректер Ұлттық денсаулық институттары [10] мақалаларынан жарияланған медициналық суреттер онлайн OpenI репозиторийден алынған. Медицинадағы цифрлық бейнелеу және коммуникациялар (DICOM) кескінді өңдеу үшін кескіндерді импорттау, сандық форматқа түрлендіру үшін PyDicom Python кітапханасы пайдаланыл-



2-сурет. Қолданушы және оған қатысты әдістердің мәндері

ды. Caffe тәрізді басқа платформалармен пайдалану алдында DICOM файлдарын PNG немесе Joint Photographic Experts Group (JPEG) пішіміне түрлендіру мүмкін.

Tensorflow, Keras және Google Collab арқылы жүйесінде жазу кітапшалары ұяшықтарға бөлінген және әрбір ұяшық өз бетінше жұмыс істей

алады. Блокнотта Keras кітапханасынан талаптары жүктелді [11]. Содан кейін суреттер туралы ақпарат енгізілді. Соңында, дәуірлер санын (жатығу деректері арқылы өту саны) және партия өлшемін (бір уақытта өңделген кескіндер саны) анықталды. Мембраналық мәліметтер жиынтығы (3-сурет):

```
!wget https://github.com/RodolfoFerro/RIIAA19-DLaaS/raw/master/data/membrane.zip
!unzip membrane.zip

--2022-04-07 03:54:20-- https://github.com/RodolfoFerro/RIIAA19-DLaaS/raw/master/data/membrane.zip
Resolving github.com (github.com)... 52.69.186.44
Connecting to github.com (github.com)|52.69.186.44|:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 302 Found
Location: https://raw.githubusercontent.com/RodolfoFerro/RIIAA19-DLaaS/master/data/membrane.zip [following]
--2022-04-07 03:54:20-- https://raw.githubusercontent.com/RodolfoFerro/RIIAA19-DLaaS/master/data/membrane.zip
Resolving raw.githubusercontent.com (raw.githubusercontent.com)... 185.199.111.133, 185.199.108.133, 185.199.110.133, ...
Connecting to raw.githubusercontent.com (raw.githubusercontent.com)|185.199.111.133|:443... connected.
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK
Length: 12892235 (12M) [application/zip]
Saving to: 'membrane.zip'

membrane.zip      100%[=====] 12.29M  --.-KB/s   in 0.1s

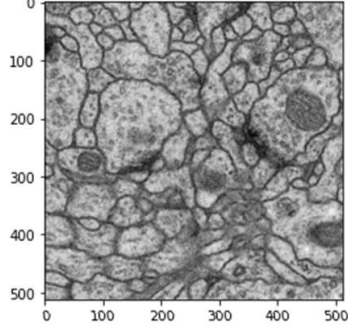
2022-04-07 03:54:22 (98.9 MB/s) - 'membrane.zip' saved [12892235/12892235]

Archive: membrane.zip
creating: membrane/
creating: membrane/test/
inflating: membrane/test/8.png
creating: __MACOSX/
creating: __MACOSX/membrane/
creating: __MACOSX/membrane/test/
```

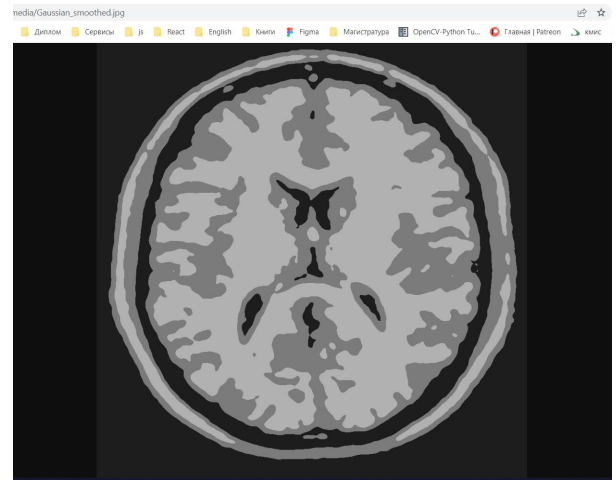
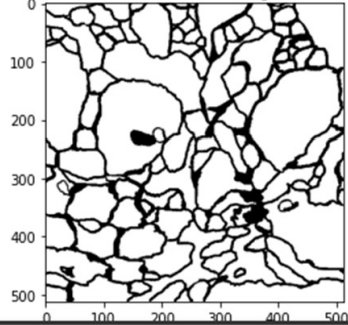
3-сурет. Мембраналық мәліметтер жиынтығы

<matplotlib.image.AxesImage at 0x7f72b4a10b90>

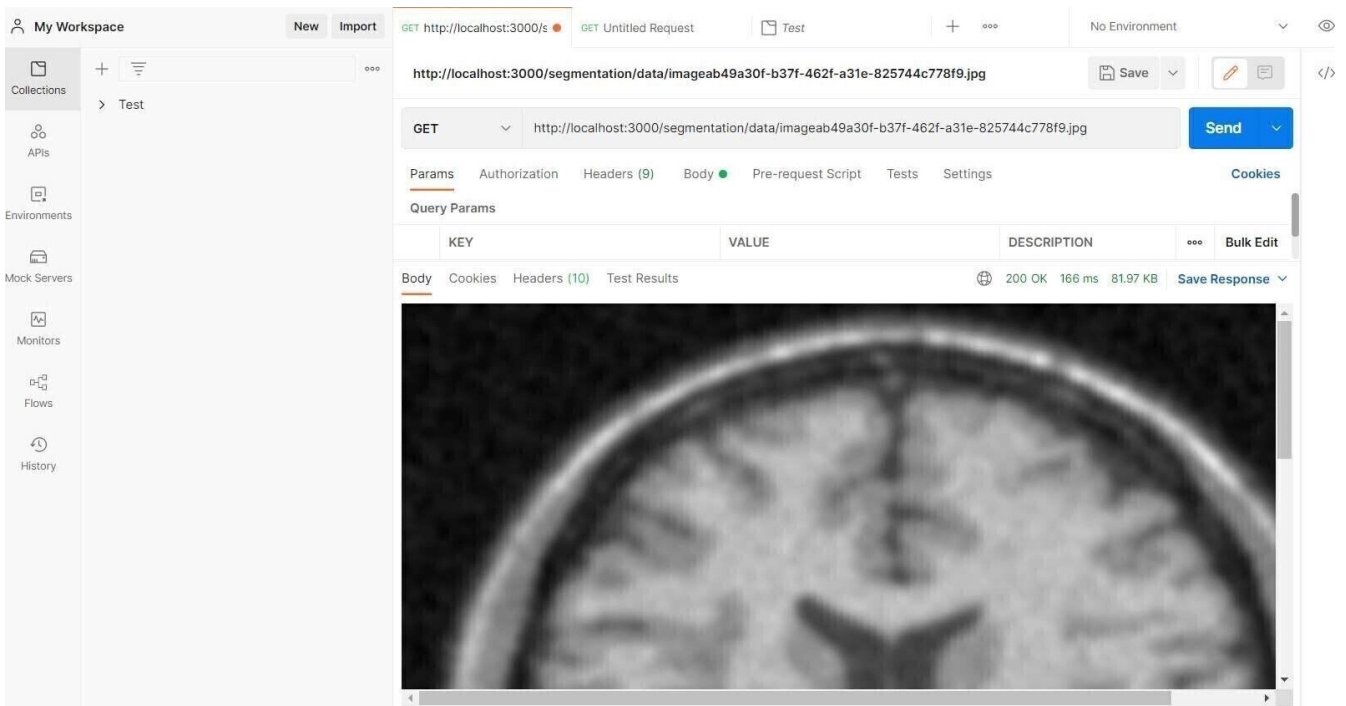
First element from training dataset:



First outcome from training dataset:



4-сурет. Сегментация үлгісі



5-сурет. Postman арқылы серверді тестілеу

Жүйенің модельдеу және жобалау функционалдығы толықтай зерттелді.

Нәтижелер мен талқылау. Әзірленген қосымшаның негізгі технологиясы – жалпақ кескіндерді тану технологиясы болып табылады. Бұл технология үшін әртүрлі кітапханалар бар. 4-суретте OpenCV кітапханасы арқылы жасалған медициналық суреттің сегментация үлгісі көрсетілген.

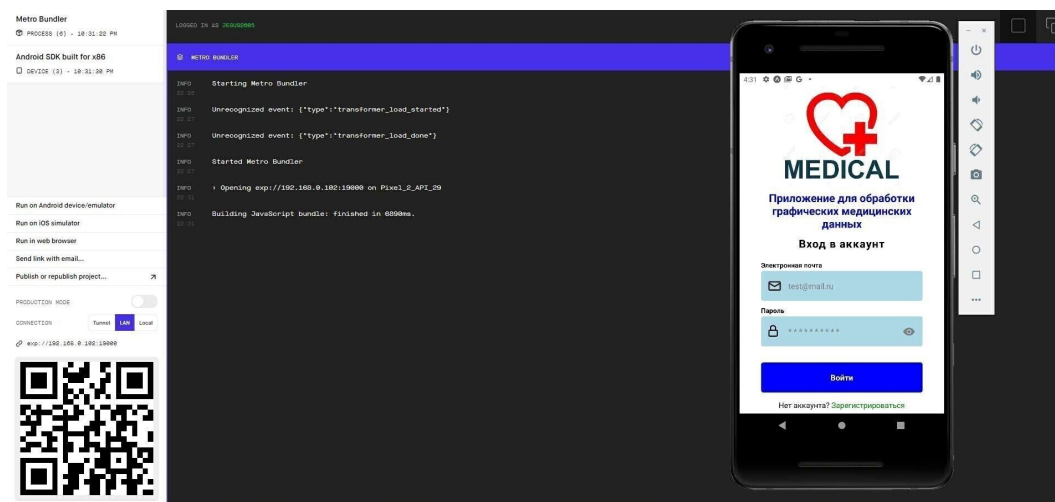
Бұл зерттеуде серверлік бөлім ретінде Nestjs программалық тілі таңдалды. Сервер алдыңғы

бөлігімен өзара әрекеттеседі, веб-параққа ұсыну үшін деректерді береді және алады. Postman – бұл басқалар жасаған RESTful API-ді талдауға немесе өзіңіз жасаған API-ді тексеруге тырысудың құралы (5-сурет). Тек маршрутты мекен-жай жолына қосу керек, сол жақтағы ашылмалы тізімнен жауап алу әдісін таңдап, API кілтін «тақырыптар» бөліміне енгізіп, «әдемі» JSON форматы шығады.

Осы зерттеуде PostgreSQL ДҚБЖ пайдаланылды. Келесі 6-суретте деректер қорының негізгі кестелері сипатталған.

Name	Owner
comments	postgres
posts	postgres
segmentation	postgres
typeorm_metadata	postgres
users	postgres

6-сурет. Деректер қорының негізгі кестелері



7-сурет. Android studio ортасында қосымшаның интерфейсі

Клиенттік бөлім React Native Javascript кітапханасы технологиясы арқылы жүзеге асырылған. Одан басқа мобильді қосымша құру кезінде келесі қосымша кітапханалар орнатылды: Axios, Buffer, @react-native-picker/picker, FontAwesome5, @react-native-async-storage/async-storage, react-native-gesture-handler, formik, @react-navigation/bottom-tabs, @react-navigation/stack, @react-navigation/native. Қосымшаның демо нұсқасы Android studio программалық қамтама арқылы құрастырылады (7-сурет).

Жобаңың package.json файлы – бұл қосымшамен өзара әрекеттесуде. Виртуалды DOM тұжырымдамасы беретін абстракция дәрежесінің арқасында React Native «көпір» жазуға тура келгенше басқа платформаларға назар аудара алады.

Қорытынды. Зерттеу жүргізу барысында программалық қосымша арқылы медициналық кескіндерді сегментациялау жүзеге асырылды. Медициналық кескіндерді сегментациялау әдістері зерттелінді. Әдістерді толықтай талдап, артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды. Әзірленген жүйенің жобалау және модельдеуі сипатталды. Техникалық тапсырма кезінде пайдаланушы, дәрігер және әкімші деген үш пайдаланушы түрі анықталды. Әр пайдаланушы түріне бөлек функционал сипатталып, жасалынды. Жобада қолданылған әр технология зерттелді. Практикада қолданылған келесі технологиялар: Серверлік бөлім – NestJS; Клиент-

тік бөлім – ReactNative; Компьютерлік көру модулі – OpenCV; Дерекқор базасы – PostgreSQL. Программалық қамтамасыздандыру құру кезінде келесі лицензияланған программаларды қолдандық: Visual Studio Code; Postman; TablePlus; pgAdmin; ExpoGo. Осылайша, сегменттелген кескіндер диагностиканың дәлдігін жақсартты, оларды пайдалануда, сақтауда және одан әрі түсіндіруде ресурстарды үнемдейді. Мұндай қосымшалар үйден шықпай-ақ бірнеше дәрігерден кеңес алуға мүмкіндік береді. Осы жерде және қазір суретті оқудағы дәлдікті жақсартуға мүмкіндік беретін мұндай қосымшаның Қазақстанда жұмыс істеуі басқа клиникалық тексеру әдістерімен бірге орасан зор жетістік болуы мүмкін, өйткені ол дәрігер мен пациенттің ортақ пікіріне жетуіне көмектеседі, нақты қорытынды жасалып, кейіннен диагноз қойылады. Сондай-ақ, қолданбалы бұлтқа зерттеулердің біраз көлемін сақтауға мүмкіндік беретін дерекқор базасы жасалынды және кроссплатформалы қосымша құрылды. Құрылған мобильді қосымшаға толықтай тестілеу жүргізілді. Қазақстандағы медицина саласында сәулелік бейнелерді сегментациялау пациент диагнозын неғұрлым дәл диагностикалау мен одан әрі верификациялау ең қажетті функцияларға айналуы мүмкін, демек, әртүрлі ауруларды уақтылы анықтаудың арқасында халықтың өмір сүру сапасын жақсартатын неғұрлым ұтымды және мақсатты емдеуге кең қолданысына ие болады.

Әдебиеттер

1. Mei, H., Xu, K., Zhou, Y. et al. Camouflaged Object Segmentation with Omni Perception. Int J Comput Vis. -2023. -Vol. 131. - P.3019-3034. <https://doi.org/10.1007/s11263-023-01838-2>
2. Маркелов, К. С. Модель повышения информативности цифровых изображений на базе метода суперразрешения / К.С. Маркелов // Инженерный вестники – М. : ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». – 2013. – Вып.3. – С. 525–542.
3. OpenCV tutorial. URL. <https://medium.com/analytics-vidhya/opencv-tutorial-introduction-and-image-basics-7675866eb95a>(өтініш берген күні: 9.03.2024)
4. Clarke LP, Velthuisen RP, Camacho MA, Heine JJ, Vaidyanathan M, Hall LO, Thatcher RW, Silbiger ML. MRI segmentation: methods and applications. Magn Reson Imaging.-1995. -Vol. 13(3). -P.343-368. doi: 10.1016/0730-725x(94)00124-1. PMID: 7791545.
5. Chaohui Wang, Nikos Komodakis, Nikos Paragios. Markov Random Field modeling, inference & learning in computer vision & image understanding//A survey, Computer Vision and Image Understanding. -2013.

- Vol. 117. Iss. 11. -P. 1610-1627. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2013.07.004>.
6. Modernizing Computer Vision with the Help of Neural Networks. [URL]. - <https://marutitech.com/computer-vision-neural-networks/> (өтініш берген күні: 9.03.2024)
 7. Шуйтенов, Г., У. Турусбекова, М. Муратбеков Анализ научных текстов на основе языковых моделей алгоритмами распределенной обработки// Вестник КазУТБ -2023. -№4(21). doi:10.58805/kazutb.v.4.21-220.
 8. McInerney T, Terzopoulos D. Deformable models in medical image analysis: a survey. Published in Medical Image Analysis. -1996. -Vol.1(2). -P. 91-108. <https://web.cs.ucla.edu/~dt/papers/mia96/mia96.pdf>
 9. An end-to-end platform for machine learning: Get started with TensorFlow <https://www.tensorflow.org/?hl=ru> (өтініш берген күні: 12.03.2024)
 10. Open Access Biomedical Image Search Engine. <https://openi.nlm.nih.gov>. (өтініш берген күні: 15.03.2024)
 11. Декодирование файлов DICOM для получения медицинских изображений. <https://www.tensorflow.org/io/tutorials/dicom> (өтініш берген күні: 15.03.2024)

References

1. Mei, H., Xu, K., Zhou, Y. et al. Camouflaged Object Segmentation with Omni Perception. Int J Comput Vis. -2023. -Vol. 131. - P.3019-3034. <https://doi.org/10.1007/s11263-023-01838-2>
2. Markelov, K. S. Model' povysheniya informativnosti cifrovyykh izobrazheniy na baze metoda superrazresheniya / K.S. Markelov // Inzhenernyy vestniki – M. : FGBOU VPO «MGTU im. N.Ye. Baumana». – 2013. – Vyp.3. – S. 525–542. [in Russian]
3. OpenCV tutorial. URL. <https://medium.com/analytics-vidhya/opencv-tutorial-introduction-and-image-basics-7675866eb95a>(date of application: 9.03.2024)
4. Clarke LP, Velthuizen RP, Camacho MA, Heine JJ, Vaidyanathan M, Hall LO, Thatcher RW, Silbiger ML. MRI segmentation: methods and applications. Magn Reson Imaging.-1995. -Vol. 13(3). -P.343-368. doi: 10.1016/0730-725x(94)00124-l. PMID: 7791545.
5. Chaohui Wang, Nikos Komodakis, Nikos Paragios. Markov Random Field modeling, inference & learning in computer vision & image understanding//A survey, Computer Vision and Image Understanding. -2013. -Vol. 117. Iss. 11. -P. 1610-1627. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2013.07.004>.
6. Modernizing Computer Vision with the Help of Neural Networks. [URL]. - <https://marutitech.com/computer-vision-neural-networks/> (date of application: 9.03.2024)
7. Shujtenov, G., U. Turusbekova, M. Muratbekov Analiz nauchnykh tekstov na osnove jazykovykh modelej algoritmami raspredelennoj obrabotki// Vestnik KazUTB -2023. -№4(21). doi:10.58805/kazutb.v.4.21-220. [in Russian]
8. McInerney T, Terzopoulos D. Deformable models in medical image analysis: a survey. Published in Medical Image Analysis. -1996. -Vol.1(2). -P. 91-108. <https://web.cs.ucla.edu/~dt/papers/mia96/mia96.pdf>
9. An end-to-end platform for machine learning: Get started with TensorFlow <https://www.tensorflow.org/?hl=ru> (date of application: 12.03.2024)
10. Open Access Biomedical Image Search Engine. <https://openi.nlm.nih.gov>. (date of application: 15.03.2024)

11. Dekodirovanie fajlov DICOM dlja poluchenija medicinskih izobrazhenij.
<https://www.tensorflow.org/io/tutorials/dicom> (date of application: 15.03.2024)

Авторлар туралы мәліметтер

Есенғалиева Ж.С. - PhD, доцент м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: jannayess@gmail.com;

Оралбекова Ж.О. - PhD, доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: oralbekova@bk.ru;

Турарова М.К. - PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: marzhan_08@mail.ru

Information about the authors

Yessengaliyeva Zh.S. - PhD, acting associate professor, Eurasian national university, Astana, Kazakhstan, e-mail: jannayess@gmail.com;

Oralbekova Zh.O. - PhD, associate professor, Eurasian national university, Astana, Kazakhstan, e-mail: oralbekova@bk.ru;

Turarova M.K. - PhD, Eurasian national university, Astana, Kazakhstan, e-mail: marzhan_08@mail.ru

ЗАТТАР ИНТЕРНЕТІ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫНЫҢ ҚАУІПСІЗДІГІН ҰЙЫМДАСТЫРУДА ФЕДЕРАТИВТІ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ

¹А. Адамова✉, ^{1,2}Т. Жукабаева

¹Astana IT University, Астана, Қазақстан,

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

✉Корреспондент-автор: aigul.adamova@astanait.edu.kz

Заттар интернеті құрылғыларының өзара әрекеттесуінің негізгі технологияларының бірі болып табылады. Заттар интернеті құрылғыларының өзара әрекеттесуі кезінде ресурстардың белгілі шектеулері бар. Бұл шектеулер заттар интернеті құрылғыларының нақты уақыт режиміндегі өзара әрекеттесуіне әсер етеді және желіні пайдаланушылардың жеке деректерінің қауіпсіздігі мәселесіне әсерін береді. Бұл жұмыс заттар интернеті құрылғыларының қауіпсіздігін арттыру мақсатында, машиналық оқытудың инновациялық әдісі болып табылатын – федеративті оқытудың қолданылуын зерттеу туралы. Мақалада федеративті оқытудың әлемдік зерттеулерде қолданылуы туралы шолу келтірілген. Федеративті оқытудың “Federative average” әдісі көмегімен тоғыз заттар интернеті құрылғыларының өзара әрекеттесуі барысында алынған желілік трафик бойынша DDoS шабуылын анықтау жолы талданған. Нәтижесінде бағалау көрсеткіштері арқылы ұсынған жүйенің қолданылуы бағаланды.

Түйін сөздер: Заттар интернеті, қауіпсіздік, желілік шабуылдар, машиналық оқыту, федеративті оқыту, DDoS

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ФЕДЕРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

¹А. Адамова✉, ^{1,2}Т. Жукабаева

¹Astana IT University, Астана, Казахстан,

²Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

e-mail: aigul.adamova@astanait.edu.kz

Интернет вещей является одной из основных технологий взаимодействия устройств. При взаимодействии устройств Интернета вещей существуют определенные ограничения ресурсов. Эти ограничения влияют на взаимодействие устройств Интернета вещей в режиме реального времени и влияют на проблему безопасности личных данных пользователей сети. Представленная работа посвящена изучению использования федеративного обучения который является инновационным подходом машинного обучения, с целью повышения безопасности устройств Интернет вещей. В статье представлен обзор использования федеративного обучения в мировых исследованиях. С помощью метода федеративного обучения “Federative average” анализируется сетевой трафик, полученный при взаимодействии девяти устройств Интернет вещей на выявление DDoS атак. В результате оценивалось применение предложенной системы с помощью оценочных показателей.

Ключевые слова: Интернет вещей, безопасность, сетевые атаки, машинное обучение, федеративное обучение, DDoS атака

ENSURING THE SECURITY OF INTERNET OF THINGS DEVICES USING FEDERATED LEARNING METHODS

¹A. Adamova✉, ^{1,2}T. Zhukabayeva

¹Astana IT University, Astana, Kazakhstan,

² L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

e-mail: aigul.adamova@astanait.edu.kz

The Internet of Things (IoT) is one of the key technologies for device interaction. However, there are certain resource limitations in IoT device interactions. These limitations impact real-time interactions of IoT devices and pose challenges to the security of users' personal data within the network. This work explores the use of federated learning, an innovative machine learning approach, to enhance the security of IoT devices. The article provides an overview of the use of federated learning in global research. The federated learning method 'Federated Average' is used to analyze network traffic generated by the interaction of nine IoT devices to detect DDoS attacks. The proposed system was evaluated using performance metrics.

Keywords: Internet of Things, security, network attack, machine learning, federated learning, DDoS.

Кіріспе. Қазіргі таңда өнеркәсіптің және адамның күнделікті қызмет салаларының сандық трансформациялануы, 4.0 Индустриясының, сенсорлы және пилотсыз технологиялардың дамуы, физикалық үрдістерді өзара ақпаратпен алмасу арқылы іске асыратын Интернет заттардың (Internet of Things, IoT) кең таралуына себеп болды. Күн сайын үлкен көлемдегі деректерді жинауға және тасымалдауға қабілетті жаңа құрылғылар шығарылуда. IoT құрылғылары түрлі деректерді жинайды, олардың ішінде жеке ақпарат, құпия немесе қауіпсіздікпен байланысты ақпарат. IoT құрылғылар санының қарқынды өсуі - ақпараттың қауіпсіздігі мен құпиялылығына байланысты жаңа мүмкіндіктермен қатар, үлкен қиындықтарды тудырады. Бұл кеңейіп келе жатқан экожүйенің қауіпсіздігі мен сенімділігін қамтамасыз ету үшін, бұл мәселелерді түбегейлі шешу қажет. Үлкен деректер, IoT құрылғыларының алуан түрі көптеген шабуылдарға тап болуы жаңалық емес. IoT құрылғыларымен жиналатын деректерге рұқсатсыз қол жеткізу қаржылық шығындарға, физикалық қауіпке және түрлі зардаптарға әкелуі мүмкін. 2016 жылы қауіпсіздік камерасының белгілі бір үлгісінде осалдылық табылып, 300 мыңға жуық IoT бейнежазба жүргізетін құрылғылар арқылы Spotify, Reddit сияқты әлеуметтік желілерге шабуылдар жасалған

[1]. 2019 жылы Wyze Labs Inc. компаниясы ақылды үй қауіпсіздік жүйесінің бұзылғаны туралы хабарланған, онда 2,4 миллионға жуық қолданушылардың жеке мәліметтерінің құпиялылығы сақталмаған [2]. Онымен қатар, 2024 жылдың ақпан айында Wyze Labs ақылды үйге арналған камера өндіруші компаниясы өз қолданышуларына қызмет көрсетуін тоқтатуға мәжбүр болды. 13000 қолданушыға қатысты емес, басқа ақылды үйлердің бейнежазба деректері келіп түскен. Бұл жағдай желілік хаттамалар осалдылық салдарынан орын алды [3]. IoT құрылғыларының өзара әрекеттесу барысында ақпараттың құпиялылығын сақтау, аталған жағдайлардың қайталанбауы немесе оларды алдын алу - қазіргі таңда өзекті мәселелердің бірі болып келеді.

IoT құрылғыларының ақпараттық қауіпсіздігін ұйымдастыру бойынша, бүгінгі күні, танымал әдістердің негізін құрайтын машиналық оқыту әдістері кең қолданылуда. IoT қауіпсіздігін ұйымдастыру барысында K-Nearest Neighbor, Artificial Neural Network, Support Vector Machine, Decision Tree, Random Forest, Logistic Regression және тағы көптеген машиналық оқытудың әдістерінің қолданылу аясы ауқымды [4]. Машиналық оқыту әдістері жиналған деректерді талдай отырып, қалыпты жағ-

дайдан ауытқуларды нақты уақыт режимінде анықтап, қауіптерді болжай алады [5]. Дәстүрлі Машиналық оқыту әдістері көбінесе орталықтандырылған серверде үлкен көлемдегі деректерді жинау мен оларды талдау үрдістерін қамтиды [6,7]. Дегенмен, бұл тәсіл құпиялылық тұрғысынан деректер қауіпсіздігінің бұзылуы, жеке деректерді қорғау туралы қатаң заңдардың болуы, сенімсіздіктің болуы сияқты бірқатар қиындықтарды тудырады. Ұсынылып отырған мақалада IoT құрылғылар рөлінің артуы, құпия деректердің маңыздылығына байланысты ақпараттың құпиялылығын сақтауға және бір уақытта модельдердің жоғары дәлдігін қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін машиналық оқытудың жаңа тәсілі - федеративті оқыту зерттеледі.

Федеративті оқыту - модельді үлестірілген деректер негізінде оқытатын машиналық оқытудың инновациялық әдісі болып келеді [8]. Бұл жағдайда деректер орталық серверде жиналмайды, онымен қоса аталған әдіс - деректер құпия болған жағдайда аса пайдалы болып келеді [9]. Федеративті оқыту негізіндегі әдістер дәстүрлі орталықтандырылған машиналық оқыту нұсқаларымен салыстырғанда - қолданысулардың жеке деректерінің құпиялығын сақтауда және шабуылды анықтау нақтылығында жоғары көрсеткішті шешімдер көрсетеді [10]. Жеке деректердің құпиялығы мен жүйенің сенімділігін арттыру мақсатында федеративті оқытуды блокчейн технологиясымен IoT жүйелерінде аномалияны анықтау үшін қолданады [11]. IoT құрылғыларының ресурстарының жетіспеушілігі шектелген есептеу қабілеті, төмен өткізгіштік қабілеті, төмен қуаттылығы және шектелген жадыға байланысты. осыған байланысты, IoT құрылғылары үшін үлестірілген машиналық оқыту жолдары қолданысын тапқан болатын [12]. Сайып келгенде, федеративті оқыту тәсілінің IoT құрылғылары желісінде жеке деректердің құпиялығын сақта-

удағы перспективасы анық. Жұмыс барысында IoT құрылғылар желісіндегі Ddos шабуылын анықтау үшін федеративті оқыту әдісі негізіндегі жүйе ұсынылады. Федеративті оқыту мен деректерді талдау үйлесімі пайдаланушылардың құпиялылығын бұзбай, DdoS шабуылдарымен тиімді күресуге мүмкіндік береді. Бұл қауіпсіз және сенімді заттар интернетін дамытудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Материалдар мен әдістер. IoT жүйелерінің дәстүрлі үш деңгейлі архитектурасы қарастыратын болсақ, әрбір деңгейге тән қауіпсіздік қатерлерін байқауға болады. Қауіпсіздік қатерлері жеке деректердің бұзылуына әкеледі [13]. Үш деңгейлі архитектурасы қосымша, желілік және сенсорлық деңгейлерден тұрады [14]. Сенсорлық деңгейдегі шабуылдар рұқсатсыз кіру немесе бақылау үшін, құрылғының микробағдарламасындағы әлсіз жерлерді пайдалану арқылы, құпия ақпаратты алу үшін құрылғылардың физикалық сипаттамаларын талдау арқылы, құрылғыларға рұқсатсыз кіру үшін ұрланған тіркелгі деректерін пайдалану арқылы, өндіріс процесіне зиянды компоненттерді немесе бағдарламалық жасақта-маны енгізу арқылы жасала алады [15]. Желілік деңгейдегі шабуылдар ретінде құрылғылар мен шлюз арасындағы байланысты ұстап алу және басқару арқылы асырылатын MITM немесе шлюзді қол жетімсіз ету үшін трафиктің шамадан тыс жүктелуін атауға болады [16]. Қосымша деңгейіндегі шабуылдар ретінде SQL инъекция арқылы шекті деректерге қол жеткізу сияқты жағдайларды атауға болады [17]. Барлық шабуылдар IoT желісіне үлкен қауіп төндіреді. Осы қауіпті алдын алу үшін федеративті оқытудың IoT қауіпсіздігін ұйымдастыру барысында қолданылуы туралы соңғы жылдары зерттеген жұмыстарға талдау жасалды. Талдау нәтижесі 1-кестеде ұсынылған.

1-кесте. Федеративті оқытудың IoT қауіпсіздігінде қолданылған жұмыстарға шолу

Мақала	жылы	Негізгі мазмұны	Федеративті оқытудың қолданылуы
[18]	2024	Авторлар қауіпсіз және тиімді IoT жүйелерін құру үшін кванттық есептеулердің, Федеративті оқытудың және 6g желілерінің тұжырымдамалық интеграциясын ұсынған.	Федеративті оқыту IoT құрылғыларына құпиялылықты қорғау үшін орталық серверге деректерді жібермей модельдерді бірлесіп оқытуға мүмкіндік береді.
[19]	2024	Автор түрлі шабуылдарды анықтауда дәстүрлі орталықтандырылған әдістері ауқымды және әртүрлі IoT желілерінде тиімсіз екенін атап, федеративті оқытуға негізделген жаңа тәсіл ұсынған.	Федеративті оқыту конволюциялық нейронды желілерді пайдаланып DDoS шабуылдарды тиімді анықтауға көмектеседі.
[20]	2024	Мақала Машиналық оқыту алгоритмдерін қолдана отырып, IoT құрылғы хосттарындағы түрлі шабуылдардың жіктелуін ұсынады.	Tree decision, Lite Gradient Boost, Xtra Gradient Boost және Random Forest, сияқты Машиналық оқыту алгоритмдерінің ансамбльдері жоғары дәлдікті қамтамасыз етеді.
[21]	2020	Жұмыста федеративті оқыту барысында қауіпсіздік пен сенімділіктің қатерлері зерттеледі	Федеративті оқыту әрбір қолданылуға модельді жергілікті түрде оқытуға мүмкіндік береді және орталықтандырылған серверде жаһандық агрегация жасалады
[22]	2022	Мақалада киберқауіпсіздік бойынша деректер жинағы ұсынылған	Машиналық оқыту әдістерінің тиімділігі федеративті оқыту режимінде бағаланған
[23]	2022	Жұмыста федеративті оқыту негізінде құрастырылған жаңа алгоритм ұсынылған	Федеративті оқытудың негізгі кемшіліктерін зерттейді.
[24]	2023	Жұмыс жоғары дәлдіктегі және деректердің құпиялылығын қорғауды күшейтетін IoT құрылғыларындағы кибершабуылдарды анықтау үшін FL және көп қабатты перцептронды нейрондық желілерді пайдаланатын хост негізіндегі кіруді анықтау жүйесін ұсынады.	Федеративті оқыту IoT құрылғыларының қауіпсіздігін жақсарту үшін қолданылады

Мақала	жылы	Негізгі мазмұны	Федеративті оқытудың қолданылуы
[25]	2023	Жұмыстағы ұсынылған әдіс иерархиялық құрылымды, адаптивті деректерді қысу алгоритмін және IoT құрылғылары мен Орталық сервер арасындағы тиімді, қауіпсіз және құпия өзара әрекеттесу үшін SEP-IoT хаттамасын қамтиды	Федеративті оқыту IoT жүйелеріндегі қауіпсіздік пен құпиялылықты арттыру үшін қолданылады
[26]	2023	Мақалада FLIP 4 жергілікті IoT құрылғыларындағы машиналық оқыту үлгілерін оқытуға мүмкіндік беретін әдіс зерттеледі	FLIP 4-федеративті оқытуға негізделген IoT желісіндегі шабуылдарды анықтауға арналған платформа

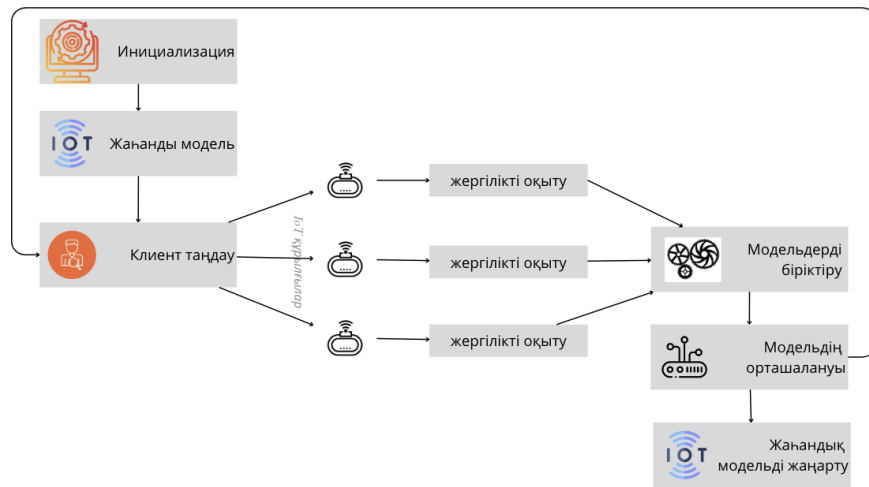
Осы зерттеу бағытындағы 1-кестеде келтірілген мақалаларды талдай отырып, федеративті оқыту әдісі - деректерді жергілікті құрылғыларда сақтауға, дәстүрлі машиналық оқытуға тән шығындарды және өнімділік кедергілерін азайту арқылы IoT құрылғыларының қауіпсіздігін арттыра алатынына көз жеткізуге болады. Ол сондай-ақ есептеу және желі шығындарын азайтады, қауіпсіздік пен құпиялылықты арттырады, параллелизацияны пайдаланады және смарт жүйелердің тұрақтылығын арттырады. Негізі федеративті оқытудың FedAvg, FedProx сияқты түрлі алгоритмдері бар. Бұл жұмыста FedAvg (Federated Averaging) алгоритмін IoT құрылғыларымен жиналған деректер қорында Ddos шабуылдарды анықтау мақсатымен қолданылады. DDoS шабуылдары компанияның немесе ұйымның беделіне айтарлықтай зиян келтіруі мүмкін. DDoS шабуылдарының негізгі мақсаты - интернеттегі кез-келген ресурсты қол жетімсіз ету. Бұл ұйымдар үшін үлкен қаржылық шығындарға және пайдаланушылар үшін қолайсыздықтарға әкелуі мүмкін.

FedAvg – федералды оқытудың ең танымал алгоритмдерінің бірі. Бұл әр құрылғыда жергілікті деректерді сақтай отырып, көптеген құрылғыларда машиналық оқыту модельдерін оқытуға мүмкіндік береді [27]. Алгоритм 8 қадамнан тұратын орындалу үрдісі 1-суретте көрсетілген. Алғашқы қадамында орталық сервер жаһандық модельді инициализацияласа, келесі оқыту қадамына қатысу үшін қолданушылардың ішкі жиыны

тандалады. Бұл таңдау ерікті немесе стандарттар жиынтығымен анықталады. Кейін таңдалған қолданушылар жаһандық үлгіні алады. Модель әр клиенттік құрылғыда жергілікті деректерді қолдана отырып оқытылады. Модельдің өнімділігін арттыру мақсатында көптеген итерацияларды немесе түрлі уақыт аралықтары қамтылуы мүмкін. Келесі қадамда, әрбір клиенттен оқытылған жаңа модельдер орталық серверге жіберіледі. Орталық сервер, клиенттерден алынған модельдерді - модель параметрлерін орташалау арқылы біріктіреді. Бұл орташалау процесі жаһандық модельдің құпиялығын сақтай отырып, әртүрлі қоланушылардан алған ақпараттың пайдалылығын қамтамасыз етеді. Клиентті таңдау және модельді орташалау арасындағы қадамдар қажетті өнімділік деңгейіне жеткенше дейін қайталана алады.

Алгоритмді Google Colab ортасында Python бағдарламалау тілінде іске асырылды, кодтың үзіндісі 2-суретте көрсетілген.

FedAvg алгоритмінің псевдокодындағы *federated_averagin* функциясы серверде федеративті орташалау үрдісін орындайды. Федеративті оқытуда *global_model* - бастапқы модель ретінде алынып, *client_data* әрбір клиенттен түскен деректер тізімі және *num_rounds* раунд санын білдіреді. Әрбір таңдалған клиент өз жергілікті моделін *train_local_model* функциясы көмегімен оқытады. *aggregated_model* функциясы әр клиенттік модельдің салмақтарын қосу арқылы біріктіреді.



1-сурет. FedAvg алгоритмінің жұмыс істеу қадамдары

```

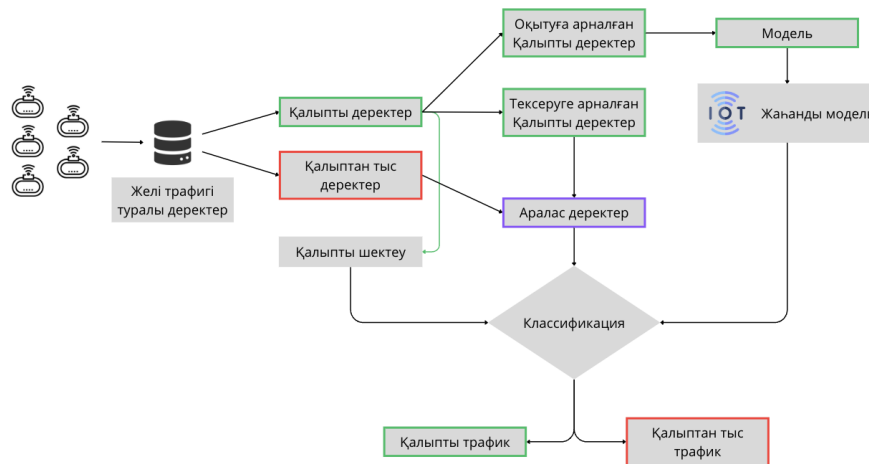
def federated_averaging(global_model, client_data, num_rounds):
    for round in range(num_rounds):
        selected_clients = np.random.choice(range(len(client_data)))

        client_models = [global_model] * len(selected_clients)

        for i, client_index in enumerate(selected_clients):
            client_model = train_local_model(client_data[client_index])
            client_models[i] = client_model

        aggregated_model = Model()
        for client_model in client_models:
            aggregated_model.fc += client_model.fc
  
```

2-сурет. FedAvg алгоритмінің псевдокоды



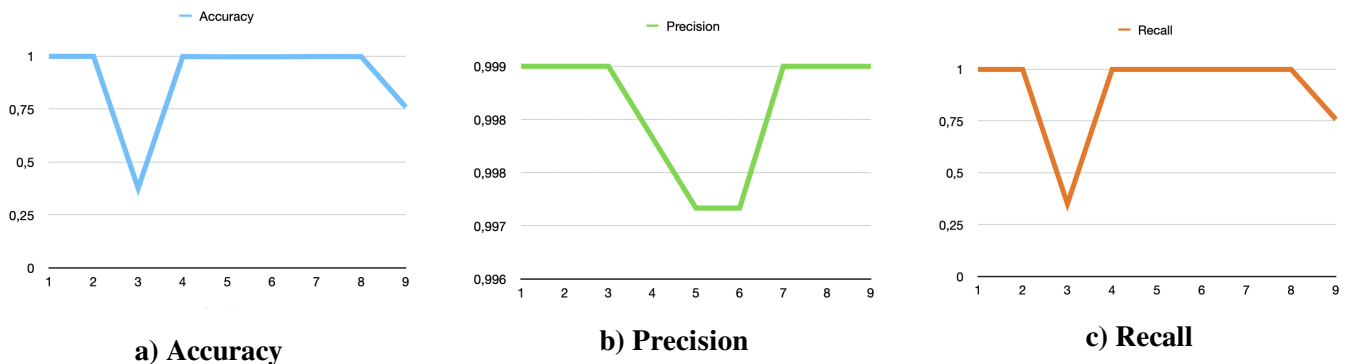
3-сурет. Ұсынылған жүйе.

FedAvg - бұл IoT құрылғыларының өзара әрекеттесу барысында құпиялылық мәселелерін шешудің және машиналық оқытудағы деректерді орталықсыздандырудың әлеуетті әдісі [28]. FedAvg деректердің қауіпсіздігі мен модельдің өнімділігі арасындағы мұқият тепе-теңдікті қамтамасыз етеді, сонымен бірге пайдаланушы деректерінің құпиялылығын сақтап, модельдерді белгілі бір құрылғыларда немесе серверлерде жергілікті түрде оқытуға мүмкіндік береді. Ұсынылып отырған жүйенің сұлбасы 3-суретте келтірілген.

Осы жұмыста ұсынылған федеративті оқыту әдісі IoT құрылғылар желілеріндегі DDoS шабуылдар қаншалықты төмендететінін анықтау үшін Accuracy, Precision және Recall бағалау көрсеткіштері қолданылады. Accuracy - барлық жағдайлардың дұрыс болжанған мысалдарының пайызын көрсете отырып, жіктеу нәтижелерінің жалпы дұрыстығын бағалайды. Precision - модель-

дің жалған оң нәтижелерді азайту қабілеті туралы түсінік бере отырып, барлық оң болжамдардың нақты оң болжамдарына үлесін сандық түрде анықтайтын өлшем. Recall - модельдің шынайы оң жағдайларды анықтау қабілетін көрсететін барлық нақты оң жағдайлардың шынайы оң болжамдарының үлесін өлшейді.

Нәтижелер мен талқылау. Жұмыста зерттелген федеративті оқыту әдісі DDoS шабуылдарын анықтауда айтарлықтай тиімділік көрсетеді. Ұсынылған әдістің бағалау өлшемдерінің көрсеткіштері 2-кесте мен 4-суретте сәйкес келтірілген. Аталған суреттерде 9 IoT құрылғы бойынша өлшемдер көрсетілген. Нәтижесінде 4a-суретте 3 және 9 құрылғыларды есептемегенде, алынған модельдің жоғары дәлдігі нақты көрінеді. Орта есеппен DDoS шабуылын анықтауда алынған модельдің 99,7 % дұрыс шешімді болды (Сурет 4b). Модельдің шынайы оң жағдайларды анықтау қабілеті 90,0% орта көрсеткішке жетті (Сурет 4c).



4-сурет. Бағалау көрсеткіштерінің құрылғыларға қатысты мәні

Fedavg деректерді тарату теңдестірілген желілерде жақсы жұмыс істейтіні белгілі. Алайда, деректердің таралуы әр түрлі болатын жағдайларда оның конвергенция проблемалары бар екендігі анықталды. Бұл әдетте федералды желілерде жиі кездесетін жағдай, мұнда әр клиент өз деректерін пайдаланады. 2-кестеде Машиналық оқытудың түрлі әдістері көмегімен алынған бағалау көрсеткіштерінің мәндері келтірілген. Бағалау көр-

сеткіштерінің мәні көптеген факторларға тәуелді болып келеді. Салыстырылған зерттеу жұмыстарында ашық деректер жиындары негізінде зерттелген әдістердің қорытындысы келтірілген. Осы зерттеуде ұсынылған жүйенің бағалау мәндері Precision бойынша жоғары көрсеткішті көрсетуде. Бұл нәтиже федеративті оқытудың қауіпсіздік саласындағы қолданылуының жаңа мүмкіндіктерінің болуына көз жеткізеді.

2-кесте. Бағалау көрсеткіштерінің орташа мәні

Өлшемдер	[29]	[30]	[31]	[32]	Ұсынылған жүйе
Accuracy	94,02	88,76	-	97,7	90,2
Precision	88,77	60	82	97,1	99,7
Recall	89,23	74,36	71	97,1	90,0

Қорытынды. IoT қауіпсіздік мәселелері көп қырлы және ықтимал кибершабуылдарды, осалдықтарды және сенімді қауіпсіздік шараларын қабылдау қажеттілігін қамтиды. Машиналық оқыту мен жасанды интеллектті қолдану IoT қауіпсіздігін жақсартудың перспективалы мүмкіндіктерін ашады, ал ойластырылған қауіпсіздік және тәуекелге негізделген қауіпсіздік механизмдері сияқты озық тәжірибелер IoT құрылғылары мен желілерін қорғау үшін өте маңызды. Ұсынылған жұмыста IoT құрылғыларының өзара байланыс кезінде қауіпсіздігін арттыру мақсатында федеративті оқыту әдісін қолданылу зерттелген. Тәжірибелік зерттеу барысында 9 IoT құрылғыларының өзара байланыс кезінде генерацияланған желілік трафик пайдаланып, жаһанды модельді оқыту әрбір құрылғының жергілікті модельдердің көмегімен жүргізіліп, ақпаратты жіберу барысында құпиялылықты сақтау және

Ddos шабуылдарын анықтау сұрақтарына назар аударылды. Қорытында федеративті оқытудың қауіпсіздік деңгейін жаңа деңгейге шығару перспективасы байқалды. бұл гипотезаны әлі де болашақ жұмыстарда зерттеу көзделуде.

IoT дәуірінде деректердің құпиялылығы барған сайын өзекті мәселеге айналууда. Деректерді орталықтандырылған жинау және өңдеу ақпараттың ағып кету қаупін тудырады және пайдаланушылардың құқықтарын бұзады. Федеративті оқыту деректерді орталықтандырылған сақтаусыз талдауға мүмкіндік беретін қауіпсіз және сенімді тәсілді ұсынады, бұл құпиялылық тәуекелдерін айтарлықтай азайтады.

Қаржыландыру. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитетімен қаржыландырылған (Грант NoAP14973006).

References

1. Karas B. (2017). Hikvision Backdoor Confirmed. IPVVM <https://ipvm.com/reports/hik-backdoor>
2. Porter J. (2019) Wyze server leak exposes customer data of 2.4 million users <https://www.theverge.com/2019/12/30/21042974/wyze-server-breach-cybersecurity-smart-home-security-camera>
3. Cerullo M. (2024) Wyze camera breach may have let 13,000 customers peek into others' homes <https://www.cbsnews.com/news/wyze-camera-breach-let-13000-customers-peek-into-others-homes/>
4. F. Alwahedi, A. Aldhaheri, M. A. Ferrag, A. Battah, and N. Tihanyi, Machine learning techniques for IoT security: Current research and future vision with generative AI and large language models, *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, vol. 4, pp. 167–185, 2024, doi: 10.1016/j.iotcps.2023.12.003.
5. M. A. Ferrag et al., “Edge Learning for 6G-Enabled Internet of Things: A Comprehensive Survey of Vulnerabilities, Datasets, and Defenses,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 25, no. 4, pp. 2654–2713, 2023, doi: 10.1109/comst.2023.3317242.
6. R. Ahmad and I. Alsmadi, “Machine learning approaches to IoT security: A systematic literature review,” *Internet of Things*, vol. 14, p. 100365, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.iot.2021.100365.
7. I. H. Sarker, A. I. Khan, Y. B. Abushark, and F. Alsolami, “Internet of Things (IoT) Security Intelligence: A Comprehensive Overview, Machine Learning Solutions and Research Directions,” *Mobile Networks and Applications*, vol. 28, no. 1, pp. 296–312, Mar. 2022, doi: 10.1007/s11036-022-01937-3.

8. B. Ghimire and D. B. Rawat, "Recent Advances on Federated Learning for Cybersecurity and Cybersecurity for Federated Learning for Internet of Things," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 11, pp. 8229–8249, Jun. 2022, doi: 10.1109/jiot.2022.3150363.
9. L. U. Khan, W. Saad, Z. Han, E. Hossain, and C. S. Hong, "Federated Learning for Internet of Things: Recent Advances, Taxonomy, and Open Challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 3, pp. 1759–1799, 2021, doi: 10.1109/comst.2021.3090430.
10. V. Mothukuri, P. Khare, R. M. Parizi, S. Pouriyeh, A. Dehghantanha, and G. Srivastava, "Federated-Learning-Based Anomaly Detection for IoT Security Attacks," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 4, pp. 2545–2554, Feb. 2022, doi: 10.1109/jiot.2021.3077803.
11. D. C. Nguyen, M. Ding, P. N. Pathirana, A. Seneviratne, J. Li, and H. Vincent Poor, "Federated Learning for Internet of Things: A Comprehensive Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 23, no. 3, pp. 1622–1658, 2021, doi: 10.1109/comst.2021.3075439.
12. A. Imteaj, U. Thakker, S. Wang, J. Li, and M. H. Amini, "A Survey on Federated Learning for Resource-Constrained IoT Devices," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 1–24, Jan. 2022, doi: 10.1109/jiot.2021.3095077.
13. B. Breve, G. Cimino, and V. Deufemia, "Identifying Security and Privacy Violation Rules in Trigger-Action IoT Platforms With NLP Models," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 10, no. 6, pp. 5607–5622, Mar. 2023, doi: 10.1109/jiot.2022.3222615.
14. N. Batra and S. Goyal, "IoT architecture," *IoT Fundamentals with a Practical Approach*, pp. 17–70, Jul. 2024, doi: 10.1201/9781003307488-2.
15. G. Sharma, S. Vidalis, N. Anand, C. Menon, and S. Kumar, "A Survey on Layer-Wise Security Attacks in IoT: Attacks, Countermeasures, and Open-Issues," *Electronics*, vol. 10, no. 19, p. 2365, Sep. 2021, doi: 10.3390/electronics10192365.
16. M. Panoff, R. G. Dutta, Y. Hu, K. Yang, and Y. Jin, "On Sensor Security in the Era of IoT and CPS," *SN Computer Science*, vol. 2, no. 1, Jan. 2021, doi: 10.1007/s42979-020-00423-5.
17. G. M and P. H B, "Semantic Query-Featured Ensemble Learning Model for SQL-Injection Attack Detection in IoT-Ecosystems," *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 71, no. 2, pp. 1057–1074, Jun. 2022, doi: 10.1109/tr.2021.3124331.
18. D. Javeed, M. S. Saeed, I. Ahmad, M. Adil, P. Kumar, and A. K. M. N. Islam, "Quantum-Empowered Federated Learning and 6G Wireless Networks for IoT Security: Concept, Challenges and Future Directions," Dec. 2023, doi: 10.36227/techrxiv.170259169.96559894/v1.
19. Y. Alhasawi and S. Alghamdi, "Federated Learning for Decentralized DDoS Attack Detection in IoT Networks," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 42357–42368, 2024, doi: 10.1109/access.2024.3378727
20. M. Asad, A. Moustafa, and C. Yu, "A Critical Evaluation of Privacy and Security Threats in Federated Learning," *Sensors*, vol. 20, no. 24, p. 7182, Dec. 2020, doi: 10.3390/s20247182.
21. Granell, C., Kamilaris, A., Kotsev, A., Ostermann, F.O., Trilles, S. (2020). *Internet of Things*. In: Guo, H., Goodchild, M.F., Annoni, A. (eds) *Manual of Digital Earth*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3_11
22. Ferrag, M. A., Friha, O., Hamouda, D., Maglaras, L., & Janicke, H. (2022). *Edge-IIoTset: A new comprehensive realistic cyber security dataset of IoT and IIoT applications for centralized and federated learning*. *IEEE Access*, 10, 40281-40306. DOI:10.36227/techrxiv.18857336.v1
23. S. Tabatabai et al., "Exploration and Exploitation in Federated Learning to Exclude Clients with Poisoned Data," *2022 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, May

2022, doi: 10.1109/iwcmc55113.2022.9825004.

24. V. Holubenko, P. Silva, and C. Bento, “An Intelligent Mechanism for Monitoring and Detecting Intrusions in IoT Devices,” 2023 IEEE 20th Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Jan. 2023, doi: 10.1109/ccnc51644.2023.10060443.

25. K. A. Awan, I. U. Din, A. Almogren, and J. J. P. C. Rodrigues, “Privacy-Preserving Big Data Security for IoT With Federated Learning and Cryptography,” IEEE Access, vol. 11, pp. 120918–120934, 2023, doi: 10.1109/access.2023.3328310.

26. M. Zang, C. Zheng, T. Koziak, N. Zilberman, and L. Dittmann, “Federated Learning-Based In-Network Traffic Analysis on IoT Edge,” 2023 IFIP Networking Conference (IFIP Networking), Jun. 2023, doi: 10.23919/ifipnetworking57963.2023.10186438.

27. J. Mills, J. Hu, and G. Min, “Communication-Efficient Federated Learning for Wireless Edge Intelligence in IoT,” IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 7, pp. 5986–5994, Jul. 2020, doi: 10.1109/jiot.2019.2956615.

28. L. Almeida, P. Rodrigues, R. Teixeira, M. Antunes, and R. L. Aguiar, “Privacy-Preserving Defense: Intrusion Detection in IoT using Federated Learning,” 2024 IEEE 22nd Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), Jun. 2024, doi: 10.1109/melecon56669.2024.10608461.

29. M. AlJamal, A. Mughaid, B. Al shboul, H. Bani-Salameh, S. Alzubi, and L. Abualigah, “Optimizing risk mitigation: A simulation-based model for detecting fake IoT clients in smart city environments,” Sustainable Computing: Informatics and Systems, vol. 43, p. 101019, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.suscom.2024.101019.

30. A. R. Kairaldeen, N. F. Abdullah, A. Abu-Samah, and R. Nordin, “Peer-to-Peer User Identity Verification Time Optimization in IoT Blockchain Network,” Sensors, vol. 23, no. 4, p. 2106, Feb. 2023, doi: 10.3390/s23042106.

31. P. Dey, S. K. Chaulya, and S. Kumar, “Secure decision tree twin support vector machine training and classification process for encrypted <sc>IoT</sc> data via blockchain platform,” Concurrency and Computation: Practice and Experience, vol. 33, no. 16, Mar. 2021, doi: 10.1002/cpe.6264.

32. N. Hasan, Z. Chen, C. Zhao, Y. Zhu, and C. Liu, “IoT Botnet Detection framework from Network Behavior based on Extreme Learning Machine,” IEEE INFOCOM 2022 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), May 2022, doi: 10.1109/infocomwkshps54753.2022.9798307.

Авторлар туралы мәліметтер

Адамова А. - PhD, Astana IT University, Астана, Қазақстан, e-mail: aigul.adamova@astanait.edu.kz;

Жукабаева Т.К. - PhD, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: tamarakokenovna@gmail.com

Information about the authors

Adamova A. - PhD, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aigul.adamova@astanait.edu.kz;

Zhukabayeva T.K. - PhD, Professor, L. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: tamarakokenovna@gmail.com

SQL-ИНЪЕКЦИЯЛАРЫНАН ВЕБ-ҚОСЫМШАЛАР ДЕРЕКТЕР ҚОРЫНЫҢ ОСАЛДЫҒЫН ЖӘНЕ ҚОРҒАНЫСЫН ЗЕРТТЕУ**Б. Рысбекқызы** ✉, **Д.Т. Кожанова, Г.К. Кабиева, Ә.Ж. Изат, Л.Б. Кадырова, А.М. Леонтьева**

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

✉ Корреспондент-автор: Bakhytgulz@mail.ru

Қазіргі уақытта веб-технологиялар интернет-дүкендерде, банктерде, кәсіпорындардың веб-парақшаларында барлық жерде қолданылады. Есесіне, деректер қоры көбінесе веб-қосымшаларды жазу үшін қолданылады. Деректер қоры ақпараттық қауіпсіздікке төнетін қауіптермен сипатталады. Деректерге қол жеткізу үшін аутентификация процесінде шабуылдаушы SQL Injection типті ақпараттық шабуылды қолдана алады. Бұл шабуылдың мәні веб-технологиялар мен SQL қиылысындағы қатені пайдалану болып табылады. Бұл пайдаланушы деректерін өңдеуге арналған көптеген веб-парақшалар зиянды кодты енгізуге әкелуі мүмкін деректер қорына арнайы SQL сұранысын қалыптастыратындығына байланысты.

Мақалада SQL инъекцияларынан веб-қосымшалар деректер қорының негізгі қауіптері мен осалдығы қарастырылады. Жұмыс SQL инъекцияларының негізгі түрлерін, осалдықтарды анықтау және алдын алу әдістерін және веб-қосымшалардың осалдығын тексеру тәсілдерін талдауды қамтиды. Деректер базасын SQL инъекцияларынан қорғау әдістеріне және тәжірибені дамытуға баса назар аударылады.

Зерттеу тақырыбы өзекті, өйткені заманауи әлемде интернет біздің өміріміздің ажырамас бөлігіне айналды. Қосымшаларды пайдаланудың өсуімен құпия деректерді қорғау үшін қауіпсіздік шараларына деген қажеттілік артты. Веб-қосымшалардың осалдығы қауіпсіздіктің бұзылуына әкелуі мүмкін, бұл пайдаланушылардың жеке және қаржылық ақпаратын жоғалтуға, ұйымдардың беделіне нұқсан келтіруге және заңды салдарға әкелуі мүмкін.

Түйін сөздер: SQL-инъекция, веб-қосымша, деректер қоры, деректерді қорғау, шабуыл, ақпараттық қауіпсіздік.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЯЗВИМОСТИ И ЗАЩИТЫ БАЗ ДАННЫХ ВЕБ ПРИЛОЖЕНИЙ ОТ SQL-ИНЪЕКЦИЙ**Б. Рысбекқызы** ✉, **Д.Т. Кожанова Г.К. Кабиева, А.Ж. Изат, Л.Б. Кадырова, А.М. Леонтьева**Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан,
e-mail: Bakhytgulz@mail.ru

В настоящее время веб-технологии используются повсеместно в интернет-магазинах, банках, веб-страницах предприятий. При этом базы данных часто используются для написания веб-приложений. Для базы данных характерны угрозы информационной безопасности. В процессе аутентификации для получения доступа к данным злоумышленник может использовать информационную атаку типа SQL Injection. Суть данной атаки заключается в использовании ошибки на стыке веб-технологий

и SQL. Это обусловлено тем, что многие web-страницы для обработки пользовательских данных, формируют специальный SQL запрос к базам данных, что может привести к внедрению вредоносного кода.

В статье рассматриваются основные угрозы и уязвимость баз данных веб-приложений от SQL-инъекций. Работа включает в себя анализ основных видов SQL-инъекций, методов обнаружения и предотвращения уязвимостей, а также подходы к тестированию уязвимостей веб-приложений. Основное внимание уделено методам защиты баз данных от SQL-инъекций и разработке практических рекомендаций по обеспечению безопасности веб-приложений.

Тематика исследования актуальна так как в современном мире, так как интернет стал неотъемлемой частью нашей жизни. С ростом использования приложений также возросла потребность в мерах безопасности для защиты конфиденциальных данных. Уязвимости веб-приложений могут привести к нарушениям безопасности, что может привести к потере личной и финансовой информации пользователей, ущербу для репутации организаций и юридическим последствиям.

Ключевые слова: SQL-инъекция; веб-приложение; базы данных; защита данных; атака; информационная безопасность.

RESEARCH OF VULNERABILITY AND PROTECTION OF WEB APPLICATION DATABASES FROM SQL INJECTIONS

B. Rysbekyzy✉, **D.T. Kozhanova** **G.K. Kabieva**, **A.Zh. Izat**, **L.B.Kadyrova**,
A.M.Leontyeva

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan,
e-mail: Bakhytgulz@mail.ru

Currently, web technologies are used everywhere in online stores, banks, and enterprise web pages. At the same time, databases are often used to write web applications. The database is characterized by information security threats. During the authentication process, an attacker can use an information attack such as SQL Injection to gain access to data. The essence of this attack is to exploit an error at the intersection of web technologies and SQL. This is due to the fact that many web pages form a special SQL query to databases to process user data, which can lead to the introduction of malicious code.

The article discusses the main threats and vulnerability of web application databases from SQL injections. The work includes an analysis of the main types of SQL injections, methods for detecting and preventing vulnerabilities, as well as approaches to testing web application vulnerabilities. The main focus is on methods for protecting databases from SQL injections and developing practical recommendations for ensuring the security of web applications.

The topic of the research is relevant in the modern world, since the Internet has become an integral part of our lives. As the use of apps has increased, the need for security measures to protect sensitive data has also increased. Web application vulnerabilities can lead to security breaches that can result in the loss of users' personal and financial information, damage to organizations' reputations, and legal consequences.

Keywords: SQL injection; web application; databases; data protection; attack; information security.

Кіріспе. Веб-қосымшадағы шабуылдардың ең танымал түрлерінің бірі SQL инъекциясы болып табылады. SQL-инъекция - бұл зиянды пайдаланушыға өзінің жеке параметрлерін қолданыстағы SQL-сұраныс жасауына немесе SQL-сұраныс жасауды болдырмауға және өзінің жеке сұраныс жа-

сауын ұсынуға мүмкіндік беретін SQL дерекқорына арнайы бағытталған инъекциялық шабуыл түрі.

SQL-инъекция ең кең таралған, бірақ жалғыз түрі емес. Инъекциялық шабуылдар екі негізгі компоненттен тұрады: интерпретатор және пайдаланушыдан түсетін пайдалы жүктеме, ол қандай да бір интерпретаторға оқылады [1-2]. Бұл инъекциялық шабуылдар FFmpeg (бейнекомпрессор) сияқты командалық жолдың утилитасына, сондай-ақ, деректер қорына (дәстүрлі жағдайда SQL-инъекцияға) қарсы болуы мүмкін дегенді білдіреді.

Материалдар мен әдістер. SQL-инъекция ең классикалық аталатын инъекция түрі болып табылады. SQL жолы HTTP пайдалы жүктемесінде экрандалады, бұл соңғы пайдаланушының атынан пайдаланушы SQL сұраныстарына

әкеледі.

Дәстүрлі түрде көптеген OSS пакеттері PHP және SQL (жиі MySQL) комбинациясын пайдалана отырып жасалған. Әзірлеу тарихындағы SQL-инъекциялардың көптеген жиі айтылған осалдықтары PHP-нің түсініктер, логика және деректер коды арасындағы интерполяцияға неғұрлым жұмсақ тәсілді ұстануы нәтижесінде туындады. Ескі мектептің PHP әзірлеушілері өздерінің PHP файлдарында SQL, HTML және PHP комбинацияларын - PHP қолдайтын ұйымдастыру моделін қолданар еді, ол дұрыс қолданылмай, бұл осал PHP кодының көп болуына әкелетін еді.

Пайдаланушыға жүйеге кіруге мүмкіндік беретін форумның ескі бағдарламалық жасақтама-сына арналған PHP код блогының мысалын қарастырайық:

```
<?php if ($_SERVER['REQUEST_METHOD'] != 'POST') {
    echo'
    <div class="row">
    <div class="small-12 columns">
    <form method="post" action="">
    <fieldset class="panel">
    <center>
    <h1>Sign In</h1><br>
    </center>
    <label>
    <input type="text" id="username" name="username"
    placeholder="Username">
    </label>
    <label>
    <input type="password" id="password" name="password"
    placeholder="Password">
    </label>
    <center>
    <input type="submit" class="button" value="Sign In">
    </center>
    </fieldset>
    </form>
    </div>
    </div>';
} else {
// the user has already filled out the login form.
// pull in database info from config.php
$Servername = getenv('IP');
```

```

$Username = $mysqlUsername;
$Password = $mysqlPassword;
$Database = $mysqlDB;
$dbport = $mysqlPort;
$db = new mysqli($servername, $username, $password,
    $database, $dbport);
if ($db->connect_error) {
echo "ERROR: Failed to connect to MySQL";
die;
}
$sql = "SELECT userId, username, admin, moderator FROM users
WHERE username = '". $_POST['username'] ."' AND
password = '". sha1($_POST['password']) ."'";
$result = mysqli_query($db, $sql);
}

```

Көріп отырғаныңыздай, берілген кіру кодында PHP, SQL және HTML араласқан. Сонымен қатар, SQL-сұранысы сұраныс жолағын жасамас бұрын ешқандай тазартусыз сұрау параметрлерін біріктіру негізінде жасалады [3].

HTML, PHP және SQL кодтарының тоғысуы PHP негізіндегі веб-қосымшалар үшін SQL инъекциясының енуіне едәуір жеңілдетті. Тіпті WordPress сияқты кейбір ірі OSS PHP қосымшалары бұған дейін осындай жағдайдың құрбаны болған.

PHP-ден алынған қауіпсіздік сабақтары басқа тілдерде көрініс тапты және қазіргі заманғы веб-қосымшаларда SQL-ді енгізуге байланысты осалдықтарды табу әлдеқайда қиын. Дегенмен, бұл әлі де мүмкін және қауіпсіз бағдарламалаудың озық әдістерін қолданбайтын қосымшаларда жиі кездеседі.

Нәтижелер мен талқылау. Инъекцияға қарсы қорғаныстарды зерттеу. Әдетте әзірлеушінің CLI және пайдаланушы жіберген деректері бар автоматтандырудың кез келген түрін жазуына дұрыс назар аудармауының нәтижесінде бұл шабуылдар әлі де жиі кездеседі.

Инъекциялық шабуылдар сондай-ақ, жазықтықтың кең ауданын қамтиды. Инъекцияны CLI-ге немесе серверде жұмыс істейтін кез келген басқа оқшауланған интерпретаторға қарсы пайдалануға болады (ол ОЖ деңгейіне жеткенде, оның орнына ол команда инъекциясына айналады) [4-5]. Нәти-

жесінде, инъекция стиліндегі шабуылдардан қалай қорғанатынымыз-ды қарастырғанда, мұндай қорғау шараларын бірнеше санатқа бөлу оңай.

Ең алдымен, біз SQL-инъекция шабуылдарынан қорғанысты бағалауымыз керек - инъекцияның ең кең тараған және белгілі түрі. SQL инъекцияларынан қорғану үшін не істей алатынымызды зерттегеннен кейін, бұл қорғаныстардың қайсысы инъекциялық шабуылдардың басқа түрлеріне қолданылатынын көруге болады. Ақыр соңында, біз инъекциядан қорғаудың бірнеше жалпы әдістерін бағалай аламыз, олар инъекцияның негізіндегі шабуылдардың қандай да бір жиынына тән емес.

SSQL-инъекциясының салдарын жұмсарту. SQL инъекциясы – инъекциялық шабуылдың ең көп таралған түрі және сол сияқты қорғандың ең оңай түрлерінің бірі. Ол өте кең таралғандықтан, әрбір дерлік күрделі веб-қосымшаға әсер етуі мүмкін (SQL дерекқорларының таралуына байланысты) SQL инъекциясына қарсы көптеген жұмсарту және қарсы шаралар әзірленді.

Сонымен қатар, SQL инъекциялық шабуылдар SQL интерпретаторында орын алатындықтан, мұндай осалдықтарды анықтау өте қарапайым болуы мүмкін [6]. Тиісті анықтау және жұмсарту стратегиялары бар болса, веб-қосымшаның SQL инъекциялық шабуылына ұшырау мүмкіндігі өте төмен.

SQL инъекциясын анықтау. Кодтық базаңызды

SQL инъекциялық шабуылдардан қорғауға дайындау үшін алдымен SQL инъекциясы қабылдайтын форманы және сіздің кодтық базаныздағы ең осал болуы мүмкін орындарды қарап шығуыңыз керек [7].

Көптеген заманауи веб-қосымшаларда SQL операциялары сервер жағындағы маршрутизация деңгейінен кейін орындалады. Бұл клиент туралы ештеңе қызықтырмайтынын білдіреді.

Мысалы, веб-қосымшаның код репозиторийінің файлдық құрылымы бар, ол келесідей:

```
/api
/routes
/utills
/analytics
/routes
/client
/pages
/scripts
/media
```

Біз клиентті іздеуді жіберіп алатынымызды білеміз, бірақ біз талдау бағытын қарастыруымыз керек, өйткені ол OSS-те салынған болса да, ол аналитика деректерін сақтау үшін қандай да бір дерекқорды пайдалануы мүмкін. Егер деректер құрылғылар мен сессиялар арасында сақталса, олар серверлік жадта, дискіде (журналдарда) немесе дерекқорда сақталады.

Серверде көптеген қолданбалар бірден көп дерекқорды пайдаланатынын білуіміз керек. Бұл қолданба, мысалы, SQL Server-ді және MySQL-ді пайдаланады дегенді білдіруі мүмкін. Сондықтан сервердегі іздеу кезінде SQL сұраныстарын бірнеше SQL тілінің іске асырылуынан табу үшін ортақ сұраныстарды пайдалану қажет.

Бұдан басқа, кейбір серверлік бағдарламалар доменге тән тілді (DSL) пайдаланады, ол біздің атымыздан SQL шақыруларын орындауы мүмкін, бірақ бұл шақырулар өңделмеген SQL шақыруына ұқсас құрылымданбайды.

Қолданыстағы кодтық базаны SQL-инъекцияның әлеуетті тәуекелдеріне дұрыс талдау жасау үшін, біз барлық алдыңғы DSL және SQL түр-

лерінің тізімін жасап, оны бір жерде сақтауымыз керек.

Егер біздің қолданба Node.js қолданбасы болып табылса және ол мыналарды қамтыса:

- SQL сервері – NodeMSSQL адаптері (npm) арқылы
- MySQL – mysql адаптері (npm) арқылы

онда екі SQL іске асыруынан SQL сұраныстарын таба алатын код базасында іздеулерді құрылымдауды қарастыруымыз керек.

Бақытымызға орай, Node.js-пен жеткізілетін модульдерді импорттау жүйесі бұл тапсырманы JavaScript тілінің қолданылу аймағымен бірге жеңілдетеді [8]. Егер SQL кітапханасы пермодуль негізінде импортталса, сұрауларды табу импорты іздеу сияқты оңай болады:

```
const sql = require('mssql')
// OR
const mysql = require('mysql');
```

Екінші жағынан, егер бұл кітапханалар жаһандық деңгейде жарияланса немесе ата-аналық класстан мұраға қалса, іздеу жұмыстары біршама күрделене түседі.

Node.js үшін жоғарыда аталған екі SQL адаптерінің екеуі де .query (x) шақыруымен аяқталатын синтаксисті қолданады, бірақ кейбір адаптерлер әріптік синтаксисті қолданады:

```
const sql = require('sql');
const getUserByUsername = function (username) {
  const q = new sql();
  q.select('*');
  q.from('users');
  q.where('username = ${username}');
  q.then((res) => {
    return 'username is : ${res}';
  });
};
```


Дайындалған нұсқаулықтар. Жоғарыда айтылғандай, SQL-сұраныстар бұрын кең таралған және өте қауіпті. Бірақ көптеген жағдайларда олардан қорғану онша қиын емес.

SQL-ді іске асырудың көпшілігі қолдай ба-стаған әзірлемелердің бірі дайындалған опера-торлар болып табылады. Дайындалған нұсқаулықтар SQL-сұраныстарда пайдаланушы-лар ұсы-натын деректерді пайдалану кезінде тәуекелді едәуір төмендетеді. Сонымен қатар, дайындалған нұсқаулықтар өте оңай зерттеледі және SQL-сұраныстарды түзетуді айтарлықтай жеңілдетеді [9].

Дайындалған нұсқаулықтар көбінесе инъекци-ядан қорғаудың «бірінші желісі» болып саналады. Дайындалған нұсқаулықтарды іске асыру оңай, Интернетте жақсы құжатталған және инъекция-лық шабуылдарды тоқтату үшін өте тиімді.

Дайындалған нұсқаулықтар айнымалылар үшін толтырғыш мәндері бар сұранысты ал-дын ала құрастыру арқылы жұмыс істейді. Олар байланыстырушы айнымалылар ретінде белгілі, бірақ көбінесе жай толтырғыш айнымалылар деп аталады. Сұраныс құрастырылғаннан кейін тол-тырғыштар әзірлеуші ұсынған мәндермен ауы-стырылады. Осы екі сатылы процестің нәтиже-сінде сұраныс мақсаты пайдаланушы жіберген кез келген деректер қаралмай тұрып белгіленеді.

Дәстүрлі SQL сұрауында пайдаланушы жібер-ген деректер (айнымалылар) және сұраныстың өзі дерекқорға жол ретінде бірге жіберіледі. Бұл де-геніміз, егер пайдаланушы деректері манипуля-цияланса, бұл сұраныстың ниетін өзгерте алады.

Дайындалған нұсқаулықты пайдаланған кезде, сұраныстың мақсаты пайдаланушы жіберген де-ректер SQL интерпретаторына жіберілмес бұрын нақты анықталғандықтан, сұраныстың өзін өз-герту мүмкін емес. Бұл пайдаланушыларға ар-налған SELECT операциясын кез келген жолмен экрандауға және ЖОЮ операциясына түрлен-діруге болмайтынын білдіреді. Егер пайдалану-шы бастапқы сұранысты орындамаса және жаңа-сын бастаса, SELECT операциясынан кейін қо-сымша сұранысты орындау мүмкін емес. Дайын-далған нұсқаулар SQL енгізу тәуекелдерінің көп-

шілігін жояды және барлық дерлік негізгі SQL дерекқорларымен қамтамасыз етіледі: MySQL, Oracle, PostgreSQL, Microsoft SQL Server және т.б.

Дәстүрлі SQL-сұраныстар мен дайындалған нұсқаулықтар арасындағы жалғыз маңызды ымы-раласу өнімділік болып табылады [10-11]. Де-рекқорға бір өтініштің орнына дерекқор дайын-далған нұсқаулықты ұсынады, одан кейін компи-ляциядан кейін және сұранысты орындау кезінде енгізу үшін айнымалылар болады. Көптеген қо-сымшаларда бұл өнімділікті жоғалту минималды болады.

Синтаксистік тұрғыдан дайындалған нұсқау-лықтар дерекқордан дерекқорға және адаптерден адаптерге ерекшеленеді.

MySQL-де дайындалған нұсқаулықтар өте қа-рапайым келеді:

```
PREPARE q FROM 'SELECT name,  
barCode FROM products  
WHERE price <= ?';  
SET @price = 12;  
EXECUTE q USING @price;  
DEALLOCATE PREPARE q;
```

Осы дайындалған нұсқаулықта біз бағасы тө-мен өнімдер үшін MySQL дерекқорынан сұрай-мыз (біз аты мен штрих кодын қайтарғымыз ке-леді)?.

Біріншіден, сұранысымызды q атауымен сақтау үшін PREPARE операторын қолданамыз. Бұл сұраныс құрылады және пайдалануға дай-ын болады. Әрі қарай, @price айнымалы мәнін 12 мәніне меншіктейміз. Бұл, мысалы, электрон-дық коммерция сайтына қарсы сүзгіден өткізетін пайдаланушылар орнатуы үшін жақсы айнымалы болар еді. Содан кейін біз ? толтыру үшін @price беретін сұрауды орындаймыз. Соңында, біз оны жадтан жою үшін q бойынша DEALLOCATE қолданамыз, осылайша оның атаулар кеңістігі басқа нәрселер үшін пайдаланылуы мүмкін.

Бұл қарапайым дайындалған нұсқаулықта q @price көмегімен орындалмас бұрын құрасты-

рылады. Егер @price 5-ке тең болса да; UPDATE users WHERE id = 123 SET balance =10000, қосымша сұрау деректермен құрастырылмағанды-

қтан іске қосылмайды.

Бұл сұраудың әлдеқайда қауіпсіз нұсқасы:

```
'SELECT name, barcode from products WHERE price <= ' + price + ';' ;'
```

Сіз анық көріп отырғаныңыздай, дайындалған нұсқаулықтарды алдын ала құрастыру SQL инъекцияларын жеңілдетудегі маңызды бірінші қадам болып табылады және оны веб-қосымшаңызда мүмкін болған жерде пайдалану керек [12].

Деректер қорына тән қорғаныстар. Кеңінен қабылданған дайындалған нұсқаулықтарға қосымша әрбір SQL негізгі дерекқоры қауіпсіздікті арттыру үшін өзінің жеке функцияларын ұсы-

нады. Oracle, MySQL, MS SQL және SOQL SQL сұраныстарында пайдалану үшін қауіпті деп саналатын таңбалар мен таңбалар жиынтығын автоматты түрде экрандау әдістерін ұсынады. Осы санациялар туралы шешім қабылданатын әдіс нақты пайдаланылатын дерекқор мен механизмге байланысты болады.

Oracle (Java) келесі синтаксиспен шақырылуы мүмкін кодтаушыны ұсынады:

```
ESAPI.encoder().encodeForSQL(new OracleCodec(), str);
```

Осыған ұқсас, MySQL баламалы функционалдылықты ұсынады. MySQL бағдарламасында дұрыс экрандалмаған жолдарды пайдалануды болдырмау үшін мыналарды пайдалануға болады:

```
SELECT QUOTE('test''case');
```

MySQL жүйесіндегі QUOTE функциясы кері қиғаш сызықтарды, жалғыз тырнақшаларды немесе NULL мәндерін болдырмайды және бір тырнақшалы жолды дұрыс қайтарады.

MySQL mysql_real_escape_string () ұсынады. Бұл функция барлық алдыңғы қисық сызықтарды және жалғыз тырнақшаларды болдырмайды, сонымен қатар, қос тырнақшаларды ,\n және\г (linebreak) болдырмайды.

Қатерлі таңбалар жиынтығын айналып өту үшін дерекқорға тәуелді жолдарды тазалау құралдарын пайдалану жолдан айырмашылығы SQL-литералды жазуды қиындата отырып, SQL-инъекция тәуекелін төмендетеді. Егер параметрленуі мүмкін емес сұраныс орындалса, олар

әрқашан пайдаланылуы тиіс - бірақ оларды жан-жақты қорғау ретінде емес, жұмсарту ретінде қарау керек.

Жалпы инъекциялық қорғаныс. SQL инъекцияларынан қорғану мүмкіндігіне қоса, сіз сондай-ақ, сіздің қосымшаңыздың инъекцияның басқа аз таралған түрлерінен қорғалғанына көз жеткізуіңіз керек [13]. Жоғарыда айтылғандай, инъекциялық шабуылдар командалық жолдың немесе интерпретатордың утилитасының кез келген түріне қарсы болуы мүмкін.

Біз SQL инъекцияларынан басқа мақсаттарды іздеуге және инъекцияға күтпеген осалдықтың пайда болу қаупін азайту үшін барлық қолданбаның логикасында әдепкі кодтау әдістерін қолдануға тиіспіз.

Инъекцияларға арналған ықтимал мақсаттар. Біз бейне немесе суреттерді сығудың CLI интерфейстері әлеуетті енгізу мақсаты ретінде пайдаланылуы мүмкін сценарийді қарастырған болатынбыз. Бірақ енгізу FFMPEG сияқты командалық жолдың утилиттерімен шектелмейді. Ол мәтіндік енгізуді қабылдайтын және мәтінді

кандай да бір интерпретатордың көмегімен түсіндіретін немесе мәтінді қандай да бір командалар тізімімен салыстыратын скрипттің кез келген түріне қолданылады.

Әдетте, жүйеге енгізуді іздеу кезінде тәуекел дәрежесі жоғары мынадай объектілер пайдаланылады:

- Міндеттерді жоспарлаушылар
- Қысу/оңтайландыру кітапханалары
- Қашықтағы сақтық көшірме скрипттері
- Дерекқорлар
- Тіркеушілер
- Хосттың кез келген операциялық жүйесін шақыру
- Кез келген интерпретатор немесе компилятор

Сіздің веб-қосымшаңыздың компоненттерін енгізудің әлеуетті тәуекелі тұрғысынан бірінші рет ранжирлеу кезінде оларды жоғарыда келтірілген жоғары тәуекел объектілерінің тізімімен салыстырыңыз. Бұл сіздің зерттеуіңізге арналған бастапқы нүктелеріңіз болып табылады.

Тәуелділіктер де тәуекел болуы мүмкін, себебі көптеген тәуелділіктер өздерінің (суб) тәуелділіктерін әкеледі, олар көбінесе осы санаттардың біріне түсуі мүмкін.

Ең аз өкілеттілік принципі. Ең аз өкілеттілік принципі (көбінесе ең аз артықшылықтар принципі деп аталады) абстракцияның маңызды ережесі болып табылады, оны қауіпсіз веб-қосымшаларды құруға тырысу кезінде әрқашан пайдалану керек. Бұл принцип кез келген жүйеде жүйенің әрбір мүшесінің өз жұмысын орындау үшін қажетті ақпарат пен ресурстарға ғана қол жеткізуі керек екенін айтады.

Бағдарламалық қамтамасыз ету әлемінде мынадай принцип қолданылуы мүмкін: «бағдарламалық жүйедегі әрбір модуль осы модульдің дұрыс жұмыс істеуі үшін қажетті деректер мен функцияларға ғана қол жеткізуге тиіс».

Теорияда бұл қарапайым болып көрінеді, бірақ қажет болған жағдайда масштабты веб-қосымшаларда сирек қолданылады. Бұл принцип шын мәнінде маңыздырақ болады, өйткені

қолданба күрделілігі бойынша масштабталады, өйткені күрделі қолданбадағы модульдер арасындағы өзара әрекеттесу күтпеген жанама әсерлер әкелуі мүмкін.

Веб-қосымшаңызбен біріктірілген және пайдаланушы профилдерінің фотосуреттерінің сақтық көшірмесін автоматты түрде жасайтын пәрмен жолы интерфейсін жасап жатқаныңызды елестетіп көріңіз [14]. Бұл CLI терминалдан (қолмен сақтық көшірме жасау) немесе веб-қосымшаңыз орнатылған бағдарламалау тілінде жазылған адаптер арқылы шақырылады. Егер бұл CLI ең аз өкілеттік қағидаты бойынша құрылған болса, онда CLI бұзылған болса да, қосымшаның қалған бөлігі бұзылмас еді. Екінші жағынан, әкімші ретінде орындалатын CLI алаяқтық инъекциялық шабуыл анықталған және жұмыс істеген жағдайда бүкіл қолданба серверін аша алады.

Ең аз өкілеттілік принципі әзірлеушілер үшін кедергі болып көрінуі мүмкін - қосымша жазбаларды, бірнеше кілттерді басқару және т.б. - бірақ осы қағидатты дұрыс іске асыру сіздің қосымшаңыз бұзылған жағдайда ұшырайтын тәуекелді шектейді.

Ақ тізімге қосу пәрмендері. Инъекция үшін ең үлкен қауіп - бұл клиент (пайдаланушы) орындау үшін серверге командалар жіберетін веб-қосымшадағы функционалдылық. Бұл нашар архитектуралық тәжірибе және оны кез келген жағдайда болдырмау керек [15].

Пайдаланушы таңдаған пәрмендер серверде кез келген контексте орындалуы керек болғанда, оларға әлеуетті нұқсан келтіруге немесе қолданбаның күйін өзгертуге (дұрыс пайдаланбаған жағдайда) мүмкіндік беретін қосымша қадамдар қажет болады. Пайдаланушы пәрмендерінің сервермен тікелей түсіндірілуіне мүмкіндік берудің орнына, пайдаланушыға қолжетімді пәрмендердің нақты анықталған ақ тізімін жасау керек. Бұл команда синтаксисіне (тәртібі, жиілігі, параметрлері) қосымша ретінде барлығын қара тізім форматында емес, ақ тізім форматында сақтай отырып, бірге пайдаланылуы тиіс. Келесі мысалды қарастырайық:

Келесі мысалды қарастырайық:

```

<div class="options">
<h2>Commands</h2>
<input type="text" id="command-list"/>
<button type="button" onclick="sendCommands()">Серверге пәрмендерді
                                                    жіберу </button>
</div>
const cli = require('../util/cli');
/*
* Клиенттен пәрмендерді қабылдайды, оларды CLI-ге қарсы іске қосады.
*/
const postCommands = function(req, res) {
cli.run(req.body.commands);
};

```

Бұл жағдайда клиент CLI кітапханасы қолдайтын кез-келген командаларды серверге қарсы орындай алады. Бұл дегеніміз, CLI жұмыс уақыты мен толық көлемі Соңғы пайдаланушыға CLI қолдайтын командаларды беру арқылы қол жетімді, тіпті егер олар әзірлеуші қолдануға арналмаған болса да.

Неғұрлым түсініксіз жағдайда, барлық пәрмендерге әзірлеуші рұқсат берген болуы мүмкін, бірақ синтаксис, тәртіп және жиілік серверде CLI-ге қарсы күтпеген функционалдық (инъекция) жасау үшін біріктірілуі мүмкін. Тез және лас жұмсарту - бұл тек бірнеше командалардың ақ тізімі:

```

const cli = require('../util/cli');
const commands = [
'print',
'cut',
'copy',
'paste',
'refresh'
];
/*
/*
* Клиенттен пәрмендерді қабылдайды, егер олар ақ тізім массивінде
*пайда болса, оларды ТЕК CLI-ге қарсы іске қосады.
*/
const postCommands = function(req, res) {
const userCommands = req.body.commands;
userCommands.forEach((c) => {
if (!commands.includes(c)) { return res.sendStatus(400); }
});
cli.run(req.body.commands);
};

```

Бұл жылдам және лас жұмсарту командалардың ретіне немесе жиілігіне қатысты мәселелерді шеше алмауы мүмкін, бірақ бұл клиент немесе соңғы пайдаланушы пайдалануға арналмаған командаларды шақыруға жол бермейді [16]. Қара тізім қолданылмайды, өйткені қосымшалар уақыт өте келе дамиды. Қара тізімдер пайдаланушыға қажетсіз функционалдылық деңгейлерін беретін жаңа пәрмен қосылған жағдайда қауіпсіздік қаупі ретінде қарастырылады.

Пайдаланушы енгізуі қабылданып, CLI-ге жіберілген кезде, әрқашан қара тізім тәсілін емес, ақ тізім тәсілін таңдаңыз.

Қорытынды. Инъекциялық шабуылдар классикалық түрде деректер қорына, атап айтқанда SQL деректер қорына жатады. Бірақ дерекқорлар дұрыс жазылған кодсыз және конфигурациясыз инъекциялық шабуылдарға осал болса да, API соңғы нүктесі (немесе тәуелділік) өзара әрекеттесетін кез келген CLI инъекцияның құрбаны болуы мүмкін.

Негізгі SQL дерекқорлары SQL инъекциясының алдын алу шараларын ұсынады, бірақ SQL инъекциясы қолданбаның архитектурасымен және қате жазылған клиент-сервер кодымен әлі де мүмкін. Кодтық базаға ең аз өкілеттік принципін енгізу сіздің ұйымыңызға және веб-қосымшаңыздың инфрақұрылымына келтірілген зиянды азайту арқылы бұзылған жағдайда веб-

қосымшаңызға көмектеседі. Бастапқыда қауіпсіздік принциптеріне негізделген қосымша ешқашан клиентке (пайдаланушыға) серверде орындалатын сұраныс немесе пәрмен беруге мүмкіндік бермейді.

Егер пайдаланушы енгізген деректерді сервер жағындағы операцияларға түрлендіру қажет болса, бұл операциялар жалпы функционалдылықтың бір бөлігі ғана қолжетімді болуы үшін және қауіпсіздікті тексерудің жауапты тобы қауіпсіз ретінде тексерген функционалдылық қана ақ тізімге енгізілуі тиіс.

Осы басқару элементтерін пайдалана отырып, веб-қосымша инъекция стиліндегі осалдыққа ие болу ықтималдығы әлдеқайда төмен болады.

SQL-инъекция шабуылдары кеңінен танымал және оларға дайын болғанымен, инъекция шабуылдары сервер API сұранысына жауап ретінде пайдаланатын кез келген CLI утилитасына қарсы болуы мүмкін.

SQL дерекқоры (жиі) инъекциядан жақсы қорғалған. Автоматтандыру белгілі SQL-инъекция шабуылдарын тестілеу үшін өте ыңғайлы, өйткені шабуыл әдісі өте жақсы құжатталған. SQL-инъекция істен шыққан жағдайда, кескін компрессорларын, резервтік көшіру утилиттерін және командалық жолдың басқа интерфейстерін әлеуетті мақсатты нысандар ретінде қарастырыңыз.

Әдебиеттер

- 1.Ge, X., Paige, R.F., Polack, F.A., Chivers, H. and Brooke, P.J. Agile Development of Secure Web Applications. Proceedings of the 6th International Conference on Web Engineering. Palo Alto. 2006, - P:305-312. DOI 10.1145/1145581.1145641
2. Norwawi, N.M. and Selamat, M.H. Secure E-Commerce Web Development Framework// Information Technology Journal. 2011, Vol.10 (4) - P.769-778. DOI 10.3923/itj.2011.769.778
- 3.McGraw, G. and Viega, J. Building Secure Software. In RTO/NATO Real-Time Intrusion Detection Symp. 2002.
- 4.Mouratidis, H., Jürjens, J. and Fox, J. Towards a Comprehensive Framework for Secure Systems Development //Advanced Information Systems Engineering. Springer, Berlin Heidelberg.- 2006.- P. 48-62. DOI 10.1007/11767138_5
- 5.Гафнер, В. В. Информационная безопасность. Учебное пособие. В 2 ч. Ч.1 / В. В. Гафнер. – Екатеринбург:Урал.гос.пед.ун-т,2009.- 155 с. ISBN 978-5-7186-0414-6

6. Булыгина О.В. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Безопасность веб-приложений» [Электронный ресурс]: электронные методические указания для студентов, обучающихся по направлению 10.04.01 «Информационная безопасность» / Булыгина О.В. – Электрон. дан. – Смоленск: РИО филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2019.- Дата обращения: 26.10.2023.
7. Афанасьев А.А., Веденьев Л.Т., Воронцов А.А., Газизова Э.Р. Аутентификация. Теория и практика обеспечения безопасного доступа к информационным ресурсам.-Учебное пособие.-Москва: Горячая линия-Телеком. -2012. -550 с. - ISBN 978-59912-0257-2
8. Прохорова, О.В. Информационная безопасность и защита информации [Электронный ресурс]: учебник/ Прохорова О.В.— Электрон. текстовые данные.— Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014-113 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43183>.-ЭБС «IPRbooks»- Дата обращения: 26.10.2023.
9. Буренин, С.Н. Web-программирование и базы данных [Электронный ресурс] : учеб. практикум / С. Н. Буренин. - Москва: Моск. гуманитар. ун-т. 2014. -120 с. https://edu.rsreu.ru/res/specialities/disc_edu_programs/80240-edu_program-file-Web.- Дата обращения: 10.11.2023.
10. Бьюли, А. Изучаем SQL. Учебное пособие [Текст] / А. Бьюли – Символ-Плюс. 2007. -312 с.: ил. – ISBN 978-5-93286-051-9.
11. Jan vom Brocke, Jan Mendling. Business Process Management Cases: Digital Innovation and Business Transformation in Practice - Springer, 2018.- 610 p. ISBN 978-3-319-86372-6
12. Jacobson, A. Cakula, S. Automated Learning Support System to Provide Sustainable Cooperation between Adult Education Institutions and Enterprises // Procedia Computer Science.- 2015.- Vol. 43.- P. 127-133. DOI 10.1016/j.procs.2014.12.017
13. Huoing, M. Truong. Integrating learning styles and adaptive e-learning system: Current developments, problems and opportunities //Computers in Human Behavior.- 2016.- Vol.55, Part B. -P:1185-1193. DOI 10.1016/j.chb.2015.02.014
14. Marcella La Rosa, Pnina Soffer. Business Process Management Workshops – Springer. 2012.-P.840. ISBN-13 978-3642362866
15. Philipp J. Pratt, Mari Z. Last A Guide to SQL - Course Technolog.// Cengage Learning.- 320 p. 2014. ISBN-13 978-1111527273
16. PostgreSQL vs MySQL // habr [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/company/mailru/blog/248845/> -Дата обращения: 21.04.2023.

References

1. Ge, X., Paige, R.F., Polack, F.A., Chivers, H. and Brooke, P.J. Agile Development of Secure Web Applications. Proceedings of the 6th International Conference on Web Engineering. Palo Alto. 2006, - P:305-312. DOI 10.1145/1145581.1145641
2. Norwawi, N.M. and Selamat, M.H. Secure E-Commerce Web Development Framework// Information Technology Journal. 2011, Vol.10 (4) - P.769-778. DOI 10.3923/itj.2011.769.778
3. McGraw, G. and Viega, J. Building Secure Software. In RTO/NATO Real-Time Intrusion Detection Symp. 2002.
4. Mouratidis, H., Jürjens, J. and Fox, J. Towards a Comprehensive Framework for Secure Systems Development //Advanced Information Systems Engineering. Springer, Berlin Heidelberg.- 2006.- P. 48-62. DOI 10.1007/11767138_5

-
5. Gafner, V. V. Informacionnaja bezopasnost'. Uchebnoe posobie. V 2 ch. Ch.1 / V. V. Gafner. – Ekaterinburg: Ural.gos.ped.un-t, 2009. – 155 s. ISBN 978-5-7186-0414-6
6. Bulygina O.V. Metodicheskie ukazaniya po vypolneniju raschetno-graficheskoy raboty po discipline «Bezopasnost' veb-prilozhenij» [Jelektronnyj resurs]: jelektronnye metodicheskie ukazaniya dlja studentov, obuchajushhihsja po napravleniju 10.04.01 «Informacionnaja bezopasnost'» / Bulygina O.V. – Jelektron. dan. – Smolensk: RIO filiala FGBOU VO «NIU «MJeI» v g. Smolenske, 2019. – Data obrashhenija: 26.10.2023.
7. Afanas'ev A.A., Veden'ev L.T., Voroncov A.A., Gazizova Je.R. Autentifikacija. Teorija i praktika obespechenija bezopasnogo dostupa k informacionnym resursam. – Uchebnoe posobie. – Moskva: Gorjachaja linija-Telekom. – 2012. – 550 s. – ISBN 978-59912-0257-2
8. Prohorova, O.V. Informacionnaja bezopasnost' i zashhita informacii [Jelektronnyj resurs]: uchebnik/ Prohorova O.V. — Jelektron. tekstovye dannye. — Samara: Samarskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, JeBS ASV, 2014-113 c. — Rezhim dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/43183>. – JeBS «IPRbooks» – Data obrashhenija: 26.10.2023.
9. Burenin, S.N. Web-programmirovaniye i bazy dannyh [Jelektronnyj resurs] : ucheb. praktikum / S. N. Burenin. – Moskva: Mosk. gumanit. un-t. 2014. – 120 s. https://edu.rsreu.ru/res/specialities/disc_edu_programs/80240-edu_program-file-Web. – Data obrashhenija: 10.11.2023.
10. B'juli, A. Izuchaem SQL. Uchebnoe posobie [Tekst] / A. B'juli – Simvol-Pljus. 2007. – 312 s.: il. – ISBN 978-5-93286-051-9.
11. Jan vom Brocke, Jan Mendling. Business Process Management Cases: Digital Innovation and Business Transformation in Practice - Springer, 2018. – 610 p. ISBN 978-3-319-86372-6
12. Jacobson, A. Cakula, S. Automated Learning Support System to Provide Sustainable Cooperation between Adult Education Institutions and Enterprises // Procedia Computer Science. – 2015. – Vol. 43. – P. 127-133. DOI 10.1016/j.procs.2014.12.017
13. Huoing, M. Truong. Integrating learning styles and adaptive e-learning system: Current developments, problems and opportunities // Computers in Human Behavior. – 2016. – Vol. 55, Part B. – P: 1185-1193. DOI 10.1016/j.chb.2015.02.014
14. Marcella La Rosa, Pnina Soffer. Business Process Management Workshops – Springer. 2012. – P. 840. ISBN-13 978-3642362866
15. Philipp J. Pratt, Mari Z. Last A Guide to SQL - Course Technolog. // Cengage Learning. – 320 p. 2014. ISBN-13 978-1111527273
16. PostgreSQL vs MySQL // habr [Jelektronnyj resurs]. URL: <https://habr.com/company/mailru/blog/248845/> – Data obrashhenija: 21.04.2023.

Авторлар туралы мәліметтер

Рысбекқызы Б. - PhD докторы, аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: Bakhytgulz@mail.ru;

Кожанова Д.Т. - оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: kadirova_dinara@mail.ru;

Кабиева Г.К. - оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: gulnarakabieva@mail.ru;

Изат А.Ж. - КазМИРП инженері, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: celovek.dobra7@gmail.com;

Кадырова Л.Б. - аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: lyakaeldos@mail.ru;

Леонтьева А.М. - аға оқытушысы, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: ternast@mail.ru.

Information about authors

Rysbekkyzy B. - PhD, senior lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: Bakhytgulz@mail.ru;

Kozhanova D.T. - lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: kadirova_dinara@mail.ru;

Kabieva G.K. - lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: gulnarakabieva@mail.ru;

Izat A.Zh. - engineer of KazMIRR, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan e-mail: celovek.dobra7@gmail.com;

Kadyrova L.B. - senior lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: lyakaeldos@mail.ru;

Leontyeva A.M. - senior lecturer, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: ternast@mail.ru.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

¹А.Тельман, ¹Д.Р.Рашидинов✉, ^{2,3}М. Тұрдалыұлы

¹Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан,

²Международный инженерно-технологический университет, г. Алматы, Казахстан,

³Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан

✉ Корреспондент-автор: damir.dmr88@gmail.com

Цифровизация затрагивает бизнес-процессы в сервисных организациях и проявляется через внедрение цифровых технологий для повышения их эффективности. Это ведет к изменению бизнес-процессов и, в некоторых случаях, к полной трансформации бизнес-модели компании. Экономисты и специалисты прогнозируют, что такие изменения будут касаться всех компаний в будущем.

Целью данного исследования является улучшение и внедрение методов цифровизации бизнес-процессов в образовательных центрах для оптимизации их работы, увеличения производительности и улучшения взаимодействия с клиентами. В статье анализируется природа цифровизации в образовании и рассматривается применение цифровизации в бизнес-процессах образовательных учреждений.

В ходе исследования были выделены ключевые современные инструменты для эффективного моделирования бизнес-процессов, которые помогают повысить эффективность и конкурентоспособность бизнес-процессов, а также общую производительность компании на фоне цифровизации. В рамках работы также разработана методика оценки эффективности моделирования бизнес-процессов в условиях цифровизации.

Ключевые слова: цифровизация образования, цифровизация процессов, улучшение процессов, образование, бизнес-процессы.

БІЛІМ ОРЫНДАРЫНДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ БИЗНЕС-ПРОЦЕСТЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ

¹А.Тельман, ¹Д.Р. Рашидинов✉, ^{2,3} М. Тұрдалыұлы

¹Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан,

²Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,

³Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан,

e-mail:damir.dmr88@gmail.com

Цифрландыру сервистік ұйымдардағы бизнес-процестерге әсер етеді және олардың тиімділігін арттыру үшін цифрлық технологияларды енгізу арқылы көрінеді. Бұл бизнес-процестердің өзгеруіне және кейбір жағдайларда компанияның бизнес моделінің толық өзгеруіне әкеледі. Экономистер мен сарапшылар мұндай өзгерістер болашақта барлық компанияларға әсер етеді деп болжайды.

Бұл зерттеудің мақсаты – білім беру орталықтарында олардың жұмысын оңтайландыру, өнімділік-ті арттыру және клиенттермен өзара әрекеттесуді жақсарту үшін бизнес-процестерді цифрландыру

әдістерін жетілдіру және енгізу. Мақалада білім берудегі цифрландырудың табиғаты талданып, білім беру ұйымдарының бизнес-процестерінде цифрландыруды қолдану мәселелері талқыланады.

Зерттеу бизнес-процестердің тиімділігі мен бәсекеге қабілеттілігін, сондай-ақ цифрландыру аясында компанияның жалпы жұмысын жақсартуға көмектесетін бизнес-процестерді тиімді модельдеудің негізгі заманауи құралдарын анықтады. Жұмыс аясында цифрландыру жағдайында бизнес-үдерістер-ді модельдеу тиімділігін бағалау әдістемесі де әзірленді.

Түйін сөздер: білім беруді цифрландыру, процестерді цифрландыру, үдерістерді жетілдіру, білім беру, бизнес-процестер.

MODELING DIGITAL BUSINESS PROCESSES IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

¹A.Telman, ¹D.R.Rashidinov✉, ^{2,3}M.Turdalyuly

¹International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan,

²International engineering and Technology University, Almaty, Kazakhstan,

³RSE Institute of Information and Computational Technologies MSHE RK CS, Almaty, Kazakhstan,
e-mail:damir.dmr88@gmail.com

Digitalization affects business processes in service organizations and manifests itself through the introduction of digital technologies to improve their efficiency. This leads to changes in business processes and, in some cases, to a complete transformation of the company's business model. Economists and experts predict that such changes will affect all companies in the future.

The purpose of this study is to improve and implement methods of digitalization of business processes in educational centers to optimize their work, increase productivity and improve interaction with customers. The article analyzes the nature of digitalization in education and considers the application of digitalization in the business processes of educational institutions.

The study identified key modern tools for effective modeling of business processes that help improve the efficiency and competitiveness of business processes, as well as the overall performance of the company against the background of digitalization. As part of the work, a methodology for assessing the effectiveness of business process modeling in the context of digitalization was also developed.

Keywords: digitalization of education, digitalization of processes, process improvement, education, business processes.

Введение. Современная цифровая революция разворачивается с поразительной скоростью. Если переход от громоздких компьютеров к персональным устройствам занял десятилетия, то новые технологические модели могут меняться всего за несколько месяцев. Изначально цифровизация охватывала автоматизацию бизнес-процессов, улучшение доступа в Интернет, развитие социальных сетей и внедрение новых устройств, таких как планшеты и смартфоны. Сейчас, с ускорением цифровизации, технологии становятся неотъемлемой частью повсе-

дневной жизни, включая сферу образования.

Цифровизация в образовании требует кардинальных изменений, так как преподаватели должны адаптироваться к новым технологиям и эффективно их использовать. Например, виртуальная реальность (VR) позволяет создавать цифровые миры и симуляции, которые не подчиняются физическим ограничениям. Это расширяет возможности обучения, а дистанционное образование предоставляет доступ к образовательным ресурсам в любое время и из любой точки мира.

Сегодня информация является краеугольным

камнем глобального прогресса, что делает традиционные подходы неадекватными. Как подчеркивает Л.В. Шмелькова, важнейшей характеристикой людей, подходящих для цифровой экономики, является их владение цифровыми технологиями и их применение в профессиональной деятельности [1].

Дети, которые приобрели навыки общения в цифровой среде за пределами формального образования, особенно уязвимы перед последствиями оцифровки.

В то время как конкретным навыкам обучают на разных уровнях образования, цифровые

компетенции постоянно приобретаются и обновляются на протяжении всей жизни. Таким образом, цифровизация образования тесно связана с владением наставниками современными технологиями, поскольку им необходимо эффективно внедрять их в образовательный процесс. Н.Н. Битюцкая подчеркивает важность того, чтобы учителя приобрели навыки ориентировки в потоке цифровой информации, умели работать с ней, обрабатывать и интегрировать в новые технологии [2]. Система цифрового образования состоит из таких элементов, как: информационные ресурсы, телекоммуникации и управляющая система (рис. 1).

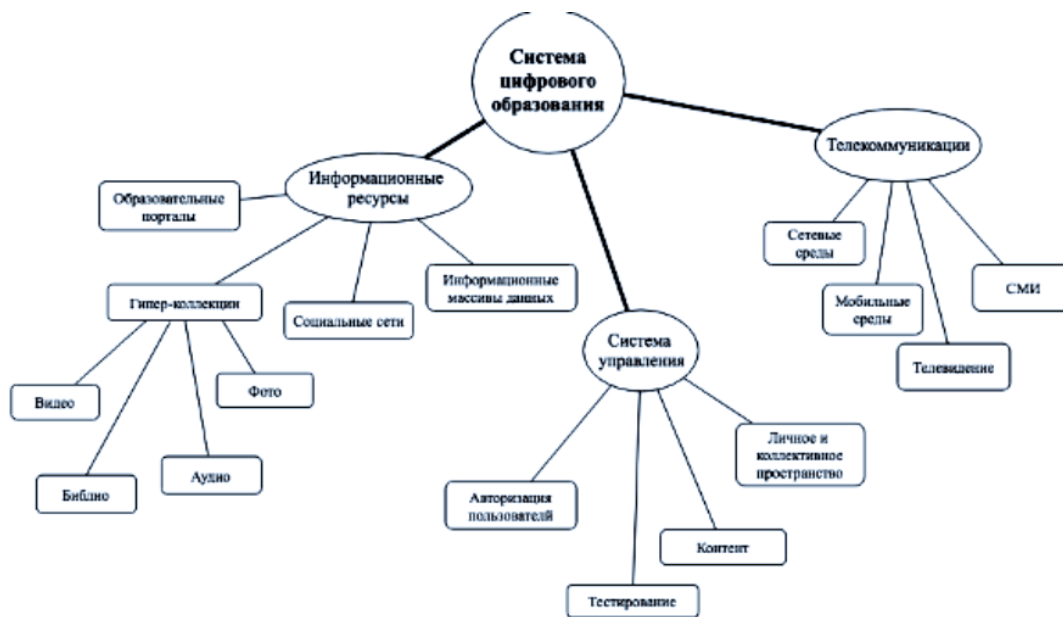


Рис. 1 – Составляющие системы цифрового образования

Материалы и методы. Использование новых технологий, механизмов и алгоритмов в образовательном процессе требует их эффективного использования. Дистанционное и смешанное обучение предоставляют людям огромные возможности для доступа к качественному образованию, независимо от их географического положения и имеющихся навыков, а также с учетом их конкретных требований и возможностей.

Эти изменения требуют, чтобы учителя обладали всесторонним пониманием цифровой сферы. Поэтому крайне важно установить "единые

стандарты для уже существующих и разрабатываемых онлайн-курсовых платформ, чтобы они могли быть интегрированы в единую систему, аналогичную "единому окну".

Условия для оцифровки можно сформулировать следующим образом:

1. всеобщий доступ: физические лица и организации на всей территории Казахстана, независимо от их местонахождения, должны иметь доступ к информационным ресурсам и возможностям, необходимым для их личной и деловой деятельности, бесплатно или за плату

2. доступность технологий: общество должно обеспечить свободный доступ к соответствующим цифровым технологиям и обеспечить практическую реализацию вышеуказанных условий

3. развитие инфраструктуры: должна быть создана достаточная инфраструктура для поддержки национальных информационных ресурсов, необходимых для развития быстро эволюционирующего общества. Общество должно генерировать и хранить всю информацию, необходимую для его функционирования, в частности научные знания.

4. автоматизация: должна происходить непрерывная автоматизация всех сфер экономической и социальной жизни общества.

5. глобальное влияние: расширение цифровой деятельности и информационно-коммуникационных услуг происходит под влиянием глобальной трансформации социальных структур.

В последнее время разработка и использование открытых онлайн-ресурсов набрали значительный импульс. Это включает в себя целый ряд ресурсов, от индивидуальных заданий и тестов до комплексных курсов и модулей, направленных на формирование необходимых компетенций. Растущая доступность онлайн-курсов свидетельствует о динамичном развитии онлайн-обучения.

Цифровизация образования выходит за рамки онлайн-курсов и включает в себя развитие цифровых библиотек и виртуальных университетских городков. Создание и внедрение онлайн-курсов предполагает использование программных решений, которые позволяют собирать курсы из существующих информационных ресурсов и специализированных программных сред.

Образование играет решающую роль в развитии интеллекта людей и обеспечении их возможности трудоустройства в эпоху цифровых преобразований. Это считается одним из основных принципов, с помощью которых развиваются и совершенствуются навыки сотрудников. Осваивая цифровизацию, школьники и студенты могут получить более глубокое представление о реальном мире, особенно о современных технологиях

[3].

Исследования показывают, что уже 37 процентов образовательных организаций по всему миру применяют искусственный интеллект, включая чат-ботов, для учебного процесса [4]. Студенты и ученики высоко оценивают взаимодействие с программой и считают, что она способствует лучшему обучению, по сравнению с человеком. Теперь давайте разберемся, что представляют собой чат-боты и почему они востребованы в образовании.

На основании исследования использования чат-ботов в образовательном процессе, можно выделить следующие рекомендации для повышения их эффективности:

1. Преимущества использования Telegram-ботов в образовании:

- Быстрая коммуникация между студентами и преподавателями.
- Участие и вовлеченность в образовательный процесс.
- Удобное хранение материалов курса и работ студентов.
- Отсутствие необходимости загружать дополнительные приложения.
- Бесплатное использование.

2. Недостатки использования Telegram-ботов в образовании:

- Возможное увеличение нагрузки на преподавателя.
- Отвлечение студентов от основных тем обсуждения или взаимодействие с другими участниками чата.
- Необходимость наличия смартфона с доступом в интернет.
- Возможная потеря информации, хранящейся на мобильных устройствах.

3. Чат-боты в образовании должны быть простыми, быстрыми в поиске информации и обеспечивать безопасный доступ к ней. Их интерфейс должен быть понятным и удобным для пользователей. Такие инструменты коммуникации помогут ускорить и упростить взаимодействие между студентами и преподавателями,

экономя время.

4. Чат-боты могут использоваться для проведения тематических онлайн-квестов, предоставления нового материала и развития коммуникации между преподавателями и студентами. Они также могут способствовать вовлечению студентов в новые формы обучения и познавательной деятельности.

Одним из основных преимуществ чат-ботов является их широкая популярность. Отправка сообщений через мессенджеры удобна и не создает дополнительной нагрузки на приложение. Коммуникация в чат-ботах краткая, информативная и быстрая. Благодаря этому педагоги могут быстро и легко устанавливать контакт с учениками и своевременно передавать им всю важную информацию [5].

Эффективность взаимодействия и коммуникации между преподавателями и учениками, адаптация к изменяющимся условиям и успешное внедрение новых технологий в образовательный процесс влияют на развитие системы образования и государства в целом [6].

Обсуждение и результаты. При цифровизации бизнес-процессов и внедрении чат-бота в организацию необходимо оценить их эффективность и целесообразность. Для этого можно использовать язык моделирования бизнес-процессов BPMN (Business Process Model and Notation), который поможет описать и визуализировать процессы и их реализацию в различных системах управления.

BPMN является составной частью двух основных компонентов:

- BPM (бизнес-процессное моделирование) - это среда, в которой вы активно участвуете в создании моделей, как в одиночку, так и в команде.

-BPMS (система моделирования бизнес-процессов) - это инструменты, которые позволяют выполнить созданные вами модели. Примерами таких инструментов являются Bizagi, Comundo, ELMA и другие.

Создание BPMN-диаграммы для образовательного центра требует знаний в области бизнес-анализа; BPMN-модель не ограничивается про-

стыми картинками и диаграммами, которые можно нарисовать в графическом редакторе. Важным аспектом является правильная структура и последовательность процессов.

Чтобы показать, как принципы бизнес-моделирования реализуются в событийно-процессной нотации, рассмотрим пример процесса, который входит в контракт курса бизнес-анализа в современной образовательной школе.

1. Процесс начинается с того, что заказчик оставляет заявку на сайте.

2. На основании заявки менеджер формирует коммерческое предложение, которое, в зависимости от предоставленных контактных данных, озвучивается по телефону или отправляется на электронную почту клиента.

3. Клиент принимает решение на основании предложения. Если клиент не желает проходить обучение, процесс работы с ним завершается.

4. Если клиент согласен с условиями, он сообщает менеджеру о своем намерении заключить договор и предоставляет необходимые данные.

5. Менеджер готовит проект договора и отправляет его клиенту на согласование.

6. Если у клиента нет возражений, договор подписывается, и процесс заключения договора завершается. Начинается процесс оплаты, который описан на другой схеме.

7. Если по проекту договора есть возражения, клиент вносит изменения и отправляет его менеджеру.

Менеджер готовит новый проект договора и отправляет его обратно клиенту на утверждение, повторяя шаги 5-7.

Чтобы улучшить понимание диаграммы, мы разделили процесс на две части: обработку заявки и заключение договора. Клиента представляем внешним закрытым пулом, с которым взаимодействуем через потоки сообщений. Для компактного размещения элементов диаграммы мы предусмотрели обход потока сообщений между пулами, чтобы избежать пересечений линий и упростить диаграмму (рис. 2).

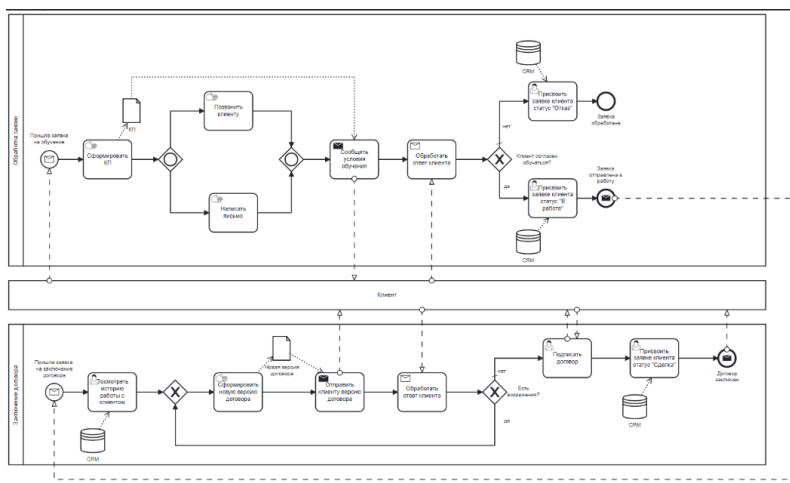


Рис. 2 – BPMN-диаграмма для образовательного центра

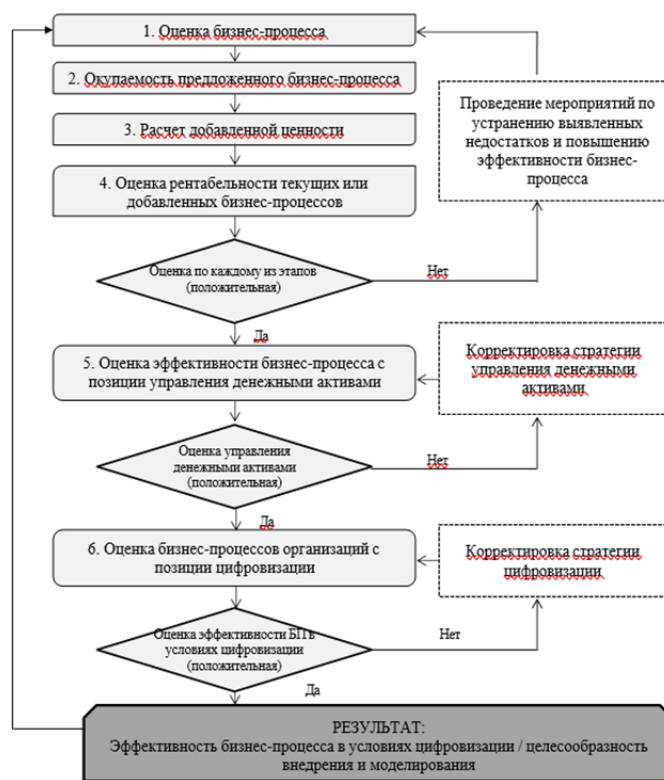


Рис. 3 – Алгоритм оценки эффективности моделирования бизнес- процессов компании в условиях цифровизации

В ходе работы был разработан соответствующий алгоритм (рис.3) для оценки эффективности моделирования бизнес-процессов компании в условиях цифровизации. Этот алгоритм представляет собой подробную схему с определенными вариантами исполнения этапов и принимаемых решений, включая как положительные, так и

отрицательные их развития. Все это отображено в графическом виде.

Алгоритм оценки эффективности моделирования бизнес-процессов компании в условиях цифровизации, начинается с исследования бизнес-процесса, его организации, степени выполнения, в том числе общей оценки. Следующим этапом

в предложенной методике является оценка окупаемости предложенного бизнес-процесса. Данный этап является расчетным, расчет окупаемости предложенного бизнес-процесса осуществляется по формуле (1):

$$ПО = ИС / ДПn \quad (1)$$

где ПО – период окупаемости предложенного бизнес-процесса;

ИС – сумма инвестиционных средств, которые направлены на реализацию предлагаемого бизнес-процесса, тыс.тг.;

ДПn – средняя сумма денежного потока от реализации предлагаемого бизнес-процесса, (заработная плата одного оператора) тыс.тг.;

n – количество периодов, в данном случае 1.

$$ПО = 1600 / 170 * 12 = 0,76 \text{ года} = 8 \text{ мес.}$$

Характеризуя вышеуказанный показатель, следует обратить внимание на то, что он может быть использован для оценки не только эффективности предлагаемого бизнес-процесса, но и уровня рисков.

Последующим этапом в алгоритме оценки эффективности моделирования бизнес-процессов компании в условиях цифровизации является расчет добавленной стоимости.

Добавленная ценность служит теоретической концепцией, которая выражает соотношение рыночной стоимости и фактически понесенных затрат от предлагаемого бизнес-процесса. Величину добавленной ценности (AV) можно рассчитать по формуле (2):

$$AV = Va - Vb \quad (2)$$

Va – ценность бизнес-процесса после обработки;

Vb – ценность бизнес-процесса перед обработкой.

$$AV = 3\,656\,000 - 3\,000\,000 = 656 \text{ тыс. тг}$$

С целью оценки эффективности моделирования бизнес-процессов, которые добавляют

экономическую ценность (затраты), на отдельном бизнес-процессе данную ценность можно выразить в виде определенного удельного показателя.

Оценка рентабельности текущих или добавленных бизнес-процессов – следующий этап в разработанном алгоритме оценки эффективности моделирования бизнес-процессов компании в условиях цифровизации. Данный показатель является относительным уровнем прибыльности от предлагаемого бизнес-процесса в компании.

Рентабельность текущих или добавленных бизнес-процессов (P) рассчитывается по формуле (3):

$$P = П / В \quad (3)$$

П – прибыль от текущих или добавленных бизнес-процессов в организации, тыс.тг.;

В – выручка от текущих или добавленных бизнес-процессов в организации, тыс.тг..

$$P = 1200 / 2450 = 0,49 = 49\%$$

В условиях получения оптимального значения (более 4%), повышения его в динамике (в сравнении с текущим показателем, то есть показателем отчетного периода), необходимо перейти к следующему этапу в разработанной методике. В условиях значения до 4%, сокращения его в динамике, следует проводить мероприятия по устранению выявленных недостатков и повышению эффективности моделирования бизнес-процесса в компании, чтобы впоследствии вернуться к этапу и перейти к последующему по разработанной методике [7].

Оценка эффективности бизнес-процесса с позиции управления денежными активами – пятый этап в алгоритме оценки эффективности моделирования бизнес-процессов компании в условиях цифровизации. На данном этапе проводится расчет по основным показателям эффективности: степени участия денежных активов бизнес-процессов в совокупных оборотных активах организации, среднему периоду оборота и количеству оборотов денежных активов бизнес-процессов в рассматриваемом периоде, количеству оборотов

среднего остатка денежных активов в рассматриваемом периоде для бизнес-процессов, коэффициенту рентабельности краткосрочных финансовых инвестиций для бизнес-процессов, а также планируемой суммы операционного остатка денежных активов бизнес-процессов (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели эффективности моделирования бизнес-процесса с позиции управления денежными активами

Наименование показателя	Сущность показателя	Расчет (формула с пояснениями)
Степень участия денежных активов бизнес-процессов в совокупных оборотных активах организации (КУ)	Показывает степень участия денежных активов предприятия в оборотном капитале в условиях реализации бизнес-процессов	$КУ = ДА / ОА$ ДА – средний остаток совокупных денежных активов, тыс.тг.; ОА – средняя сумма оборотных активов организации, тыс.тг.
Средний период оборота и количество оборотов денежных активов бизнес-процессов в рассматриваемом периоде (ПО)	Показывает степень оборачиваемости активов в условиях реализации бизнес-процессов	$ПО = ДА / РДА$ РДА – однодневный объем расходования денежных средств, тыс.тг.
Количество оборотов среднего остатка денежных активов в рассматриваемом периоде для бизнес-процессов (КО)	Показывает степень оборачиваемости среднего остатка денежных активов	$КО = РДА_{\text{о}} / ДА$ РДА _о – общий объем расходования денежных средств, тыс.тг.
Коэффициент рентабельности краткосрочных финансовых инвестиций для бизнес-процессов (КРкфи)	Показывает степень прибыльности краткосрочных финансовых инвестиций для бизнес-процессов, то есть экономическую целесообразность их ввода	$КРкфи = П / КФИ$ П – сумма прибыли, которая получена организацией от инвестирования, тыс.тг.
Планируемая сумма операционного остатка денежных активов бизнес-процессов (ДАо)	Показывает потребность в остатках денежных активов бизнес-процессов в условиях реализации бизнес-процессов	$ДА_{\text{о}} = ПО / КО$ ПО – планируемый объем отрицательного денежного потока, тыс.тг.; КО – количество оборотов среднего остатка денежных активов по плану.

Также как и было указано ранее, при положительной оценке бизнес-процесса с позиции управления денежными активами (приросте в динамике, например в сравнении с отчетными показателями), выполняется следующий этап, а при сокращении, небольших значениях – происхо-

дит корректировка существующей или выбранной стратегии управления денежными активами в компании, чтобы также вернуться к данному этапу, достичь запланированных целей и задач.

Выводы. Существует множество подходов и принципов для модернизации образовательного

процесса. Одним из ключевых аспектов является мотивация и заинтересованность учеников. Быстрые технологические изменения существенно изменили ожидания детей от учебного процесса. Традиционные методы уже не вызывают у них интерес, поэтому педагогам необходимо адаптироваться к современным требованиям и искать новые подходы в обучении.

Эта тенденция вынуждает учителей искать инновационные методы работы, что, в свою очередь, предоставляет им возможность развиваться, улучшать свои педагогические навыки и открывает новые горизонты для преподавания. Правильно подобранные методы обучения помогают учителям завоевать уважение учеников и поддерживать их интерес к учебе.

Быстрые изменения в обществе требуют оперативной адаптации методов преподавания. Чем быстрее учителя осваивают новые возможности и учитывают потребности учеников, тем более эффективным становится образовательный процесс. Качество знаний, полученных в школе, напрямую влияет на уровень квалификации буду-

щих специалистов в различных областях.

Цель данной работы заключалась в разработке и внедрении методов цифровизации для бизнес-процессов в образовательных центрах. Это позволит оптимизировать множество бизнес-процессов, повысить производительность и улучшить взаимодействие с клиентами.

Анализ показал особенности моделирования бизнес-процессов в условиях цифровизации, такие как расширение функций специалистов, использование различных цифровых инструментов и технологий, а также автоматизация процессов.

На основе исследования была разработана методика моделирования бизнес-процессов с учетом цифровизации. Эта методика представляет собой универсальный подход к изучению и оценке процессов, включающий соответствующие факторы и инструменты для достижения целей, создания конкурентной среды на рынке, соответствия мировым стандартам и улучшения качества в условиях современных потребительских тенденций.

Литература

1. Козлов С.В., Резванцева А.А. Чат-боты как одна из тенденций развития современного образования // Международный журнал экспериментального образования. - 2022. - № 5. - С. 44-49. <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=12095>
2. Грекул В.И., Денищенко Г.Н., Коровкина Н.Л. Управление внедрением информационных систем. Методология внедрения OneMethodology. - 512 с. 2021 г., издание, ISBN 978-5-4497-0910-3
3. Антонов, Г.Д. Управление проектами организации: учебник / Г.Д. Антонов, О.П. Иванова, В.М. Тумин. – Москва: Инфра-М, 2018. - 244 с. ISBN 978-5-16-01332-0
4. Гузь, Д.А. Улучшение конкурентоспособности предприятия с помощью моделирования бизнес-процессов / Д.А. Гузь, Ю.С. Бровкова // Концепции и модели устойчивого инновационного развития общества: сборник статей международной научно-практической конференции. – Омега Сайнс, 2020. - С. 52-56.
5. Буленко, Ю.А. Структурная модель развития бизнес-процессов компании / Ю.А. Буленко // Материалы и методы инновационных исследований и разработок: сборник статей международной научно-практической конференции. – Омега Сайнс, 2019. – С. 96-97.
6. Ктет М.А. Оценка факторов, влияющих на поведение потребителей гостиничных услуг // диссертация кандидата экономических наук. - Владивосток, 2020. – 230 с.
7. Смыслова Л.В. Чат-бот как современное средство интернет-коммуникаций // Молодой ученый. - 2018. - № 9. - С. 36-39

References

- 1.Kozlov S.V., Rezvanceva A.A. Chat-boty kak odna iz tendencij razvitiya sovremennogo obrazovaniya // Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovaniya.-2022.-№ 5. - S. 44-49.
<https://expeducation.ru/ru/article/view?id=12095>
- 2.Grekul V.I., Denishhenko G.N., Korovkina N.L. Upravlenie vnedreniem informacionnyh sistem. Metodologija vnedrenija OneMethodology. -512 s. 2021. ISBN 978-5-4497-0910-3
- 3.Antonov, G.D. Upravlenie proektami organizacii: uchebnik / G.D. Antonov, O.P. Ivanova, V.M. Tumin. – Moskva: Infra-M, 2018.- 244 c. ISBN 978-5-16-01332-0
- 4.Guz', D.A. Uluchshenie konkurentosposobnosti predpriyatija s pomoshh'ju modelirovaniya biznes-processov / D.A. Guz', Ju.S. Brovkova // Konceptii i modeli ustojchivogo innovacionnogo razvitiya obshhestva: sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Omega Sajns, 2020. - S. 52-56.
- 5.Bulenko, Ju.A. Strukturnaja model' razvitiya biznes-processov kompanii / Ju.A. Bulenko // Materialy i metody innovacionnyh issledovanij i razrabotok: sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Omega Sajns, 2019. – S. 96-97.
- 6.Ktet M.A. Assessment of factors influencing the behavior of consumers of hotel services // dissertation of candidate of economic sciences. - Vladivostok, 2020. - 230 p.
- 7.Smyslova L.V. Chat-bot kak sovremennoe sredstvo internet- kommunikacij // Molodoj uchenyj. - 2018. - № 9. - S. 36-39

Сведения об авторах

Тельман А. Б. - магистр, Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан, e-mail: telmanalisher@gmail.com

Рашидинов Д.Р. - докторант, Международный университет информационных технологий, г. Алматы, Казахстан, e-mail: damir.dmr88@gmail.com

М. Тұрдалыұлы- PhD, ассоциированный профессор, Международный инженерно-технологический университет, Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, e-mail:m.turdalyuly@gmail.com

Information about the authors

Telman A.B.- Master, International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan, e-mail: telmanalisher@gmail.com

Rashidinov D. R. - Doctoral student, International University of Information Technologies, Almaty, Kazakhstan, e-mail: damir.dmr88@gmail.com

Turdalyuly M. - PhD, Associate Professor, International engineering and Technology University, RSE Institute of Information and Computational Technologies MSHE RK CS, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.turdalyuly@gmail.com

ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА MISSION PLANNER ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

^{1,2}М.Г. Жартыбаева✉, ¹А.Д. Алинова, ^{1,2}Ж.О. Оралбекова, ¹Г.А. Тюлепбердинова,
³Н.М. Жамишева

¹Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

² Astana IT University, Астана, Казахстан,

³ «Институт законодательства и правовой информации Республики Казахстан»

Министерства юстиции Республики Казахстан, Астана, Казахстан,

✉ Корреспондент-автор: makkenskii@mail.ru

Для эффективного управления движением беспилотных летательных и плавательных аппаратов применяется HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ в комплексе с программным пакетом Mission Planner. Цель статьи заключается в разработке эффективных методов построения траектории для БПА с целью повышения точности и безопасности автономных миссий. Цель данного исследования разработка и апробация методов построения траекторий для беспилотных аппаратов, анализ движения мобильных роботов с учетом воздействия течения. Рассматриваются различные параметры полета, такие как высота, скорость и курс, а также методы управления БПА в соответствии с заданными целями. Особое внимание уделяется безопасности и настройке датчиков и устройств, необходимых для автономного полета. Авторские результаты включают в себя разработку алгоритмов планирования траектории, оценку влияния течения на движение робота, а также разработку программного обеспечения для получения и обработки данных о морском дне. Для наглядности и анализа представлены графики и вычислительные результаты, демонстрирующие влияние скорости течения на траекторию движения робота. Также описаны методы разработки программного обеспечения для получения и обработки данных о глубине дна с использованием оборудования HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и эхолотационного устройства. Полученные результаты имеют как теоретическую, так и практическую значимость. В теоретическом аспекте предложенные методы позволяют более эффективно управлять БППА и анализировать их поведение в различных условиях. В практическом плане это открывает новые перспективы для исследования морского дна и проведения автономных миссий с высокой точностью и безопасностью.

Ключевые слова: планирование траектории, навигация, управление, беспилотный аппарат, исследование рельефа дна.

СУ ОБЪЕКТІЛЕРІН ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН MISSION PLANNER БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ПАКЕТІН ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП, ДРОНДАРҒА АРНАЛҒАН ТРАЕКТОРИЯНЫ ҚҰРУ

^{1,2}М.Г. Жартыбаева✉, ¹А.Д. Алинова, ^{1,2}Ж.О. Оралбекова, ¹Г.А. Тюлепбердинова,
³Н.М. Жамишева

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

² Astana IT University, Астана, Қазақстан,


³Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінің «Қазақстан Республикасының Заңнама және

құқықтық ақпарат институты», Астана, Қазақстан,
e-mail: makkenskii@mail.ru

Ұшқышсыз ұшу және жүзетін аппараттардың қозғалысын тиімді басқару үшін HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ Mission Planner бағдарламалық пакетімен бірге қолданылады. Бұл жұмыстың мақсаты автономды миссиялардың дәлдігі мен қауіпсіздігін арттыру үшін Ұшқышсыз жүзетін аппараттар үшін жүзу жолдарын салудың тиімді әдістерін әзірлеу болып табылады. Бұл зерттеудің мақсаты токтардың әсерін ескере отырып, мобильді роботтардың қозғалысын талдай отырып, ұшқышсыз көліктердің траекторияларын құру әдістерін әзірлеу және сынау болып табылады. Жылдамдық және бағыт сияқты жүзудің әртүрлі параметрлері, сондай-ақ белгіленген мақсаттарға сәйкес Ұшқышсыз жүзетін аппараттар басқару әдістері қарастырылады. Автономды жүзуге қажетті сенсорлар мен құрылғылардың қауіпсіздігі мен конфигурациясына ерекше назар аударылады. Автордың нәтижелеріне траекторияны жоспарлау алгоритмдерін жасау, токтардың робот қозғалысына әсерін бағалау, сондай-ақ теңіз түбіндегі деректерді алу және өңдеу үшін бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу кіреді. Түсінікті және талдау үшін ағын жылдамдығының робот траекториясына әсерін көрсететін графиктер мен есептеу нәтижелері ұсынылған. Сондай-ақ, HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ жабдығы мен эхолокация құрылғысы арқылы тереңдіктің тереңдігі туралы деректерді алуға және өңдеуге арналған бағдарламалық құралды әзірлеу әдістері сипатталған. Алынған нәтижелердің теориялық және практикалық маңызы бар. Теориялық аспектіде ұсынылған әдістер ұшқышсыз жүзу аппараттарын тиімдірек басқаруға және олардың әртүрлі жағдайларда мінез-құлқын талдауға мүмкіндік береді. Практикалық тұрғыдан алғанда, бұл теңіз түбін зерттеудің және жоғары дәлдікпен және қауіпсіздікпен автономды миссияларды жүргізудің жаңа перспективаларын ашады.

Түйін сөздер: траекторияны жоспарлау, навигация, басқару, пилотсыз аппарат, төменгі рельефті зерттеу

CONSTRUCTING TRAJECTORIES FOR UNMANNED VEHICLES USING THE MISSION PLANNER SOFTWARE PACKAGE FOR RESEARCHING WATER BODIES

^{1,2}M.G. Zhartybayeva , ¹A.D. Alinova, ^{1,2}Zh.O. Oralbekova, ¹G.A. Tyulepberdinova, ³N.M. Zhamisheva

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

² Astana IT University, Astana, Kazakhstan,

³Institute of Legislation and Legal information of the Republic of Kazakhstan” Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan,

e-mail: makkenskii@mail.ru

HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ in combination with Mission Planner software package is used for effective motion control of unmanned aerial and swimming vehicles. The article aims to develop efficient methods of flight trajectory generation for USVs to improve the accuracy and safety of autonomous missions. This research aims to develop and validate methods of trajectory construction for unmanned vehicles and analyze the motion of mobile robots taking into account the impact of currents. Different flight parameters such as altitude, velocity, and heading are considered, as well as methods for controlling the USVs according to the given targets. Special attention is given to safety and the configuration of sensors and devices required for autonomous flight. The author's results include the development of trajectory planning algorithms, evaluation of the effect of currents on the robot's motion, and development of software

to acquire and process seafloor data. Graphs and computational results demonstrating the effect of current velocity on robot trajectory are presented for visualization and analysis. Software development methods for acquiring and processing seabed depth data using HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ hardware and an echolocation device are also described. The obtained results have both theoretical and practical significance. In the theoretical aspect, the proposed methods allow us to control USVs more efficiently and analyze their behavior in different conditions. In practical terms, it opens new perspectives for seabed exploration and autonomous missions with high accuracy and safety.

Keywords: trajectory planning, navigation, control, unmanned aerial vehicle, bottom relief research.

Введение. Современное развитие автономных систем и беспилотных технологий активно внедряется в различные области человеческой деятельности, включая аэрокосмическую, морскую и сельскохозяйственную сферы. Однако эффективное управление беспилотными плавательными или летательными аппаратами, мобильными роботизированными системами требует разработки специализированных методов и алгоритмов для планирования траекторий и навигации [1]. Так как обычно эксперименты происходят в полевых условиях, где не всегда имеется доступ к электропитанию и есть необходимость экономии электроэнергии и времени [2].

В рамках этого контекста, данное исследование направлено на разработку эффективных методов построения траекторий полета и движения для беспилотных аппаратов и мобильных роботов. Главная гипотеза данного исследования состоит в том, что применение специализированных программных пакетов и алгоритмов, адаптированных к конкретным условиям и задачам, позволит улучшить точность и эффективность управления автономными системами. Цель данного исследования заключается в разработке и апробации методов построения траекторий для беспилотных аппаратов с использованием HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и программного пакета Mission Planner, а также в анализе движения мобильных роботов с учетом воздействия течения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Изучение специализированных программных пакетов и алгоритмов для построения траекторий полета и движения беспилотных аппаратов.

- Разработка и апробация методов построения траекторий с использованием оборудования HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и программного пакета Mission Planner.
- Анализ движения мобильных роботов с учетом воздействия течения и разработка соответствующих алгоритмов управления.
- Данное исследование имеет практическую значимость для разработки автономных систем и беспилотных технологий, а также теоретическую значимость для углубления понимания принципов планирования траекторий и навигации в автономных системах.

Материалы и методы. Исследование проводилось на материальной базе научно исследовательского проекта AP09058557, используя разработанный исследовательской группой проекта беспилотный плавательный аппарат (БППА) с оборудованием HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и программный пакет Mission Planner. Выборка включала несколько типов БППА с различными характеристиками, обеспечивая разнообразие условий для тестирования.

Для освоения и анализа программного пакета Mission Planner и алгоритмов планирования траекторий проводились обучающие сессии с использованием руководств и онлайн-ресурсов [3-6]. Это позволило понять основные принципы работы программы и ее функциональные возможности. Были разработаны и реализованы алгоритмы построения траекторий для различных сценариев полета, учитывающие разнообразные факторы, такие как высота, скорость, курс и точки назначения. Для проверки эффективности алгоритмов проводились серии тестовых полетов на специально подготовленной площадке.



Рис. 1 – Построение траектории в Mission Planner

Для анализа движения мобильных роботов проводились эксперименты с использованием симуляторов и математических моделей реализованных на Python, учитывающих влияние течения и других факторов. Полученные результаты анализировались с целью определения оптимальных стратегий управления в различных условиях.

Эксперименты включали в себя серию тестовых полетов и анализ движения мобильных роботов в различных условиях. Перед началом экспериментов проводилась подготовка оборудования и алгоритмов, а также калибровка датчиков. Затем выполнялись запланированные полеты и сбор данных, которые анализировались с использованием статистических и математических методов. Полученные результаты использовались для оценки эффективности разработанных методов и алгоритмов.

Навигационная система. Для построения траектории с помощью HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ необходимо использовать специализированные программные пакеты и алгоритмы, позволяющие задать нужную траекторию полета.

Это было реализовано с помощью программного пакета Mission Planner. При построении траектории с помощью HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ учитываются различные параметры полета, такие как высота, скорость, курс и точки назначения. Это позволяет управлять БППА в соответствии с заданными целями и с высокой

точностью выполнять требуемые маршруты (Рис. 1).

Важно отметить, что для успешного построения траектории и выполнения автономного полета с помощью HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ также необходимо обеспечить правильную калибровку и настройку всех датчиков и устройств, используемых на БППА. Кроме того, при использовании беспилотных плавательных аппаратов критически важно обеспечение безопасности полетов и соблюдение всех нормативных норм и правил (Рис. 2).

Для анализа движения мобильного робота представляется необходимым ввести системы координат, описывающее его движения. При этом используются две системы координат: фиксированная X_0OY_0 и подвижная XGY , жестко связанная со станком. Оси стационарной системы координат выбираются в качестве начальных так, чтобы в начальный момент времени они совпадали с осями движущейся системы.

Угол λ , образующийся между диаметральной плоскостью (ДП) и осью X_0 , называется курсовым углом. Этот угол можно выразить через другие углы, например:

Центральный угол сноса (φ), который измеряется между вектором мгновенной скорости центра тяжести (ЦТ) робота и диаметральной плоскостью.

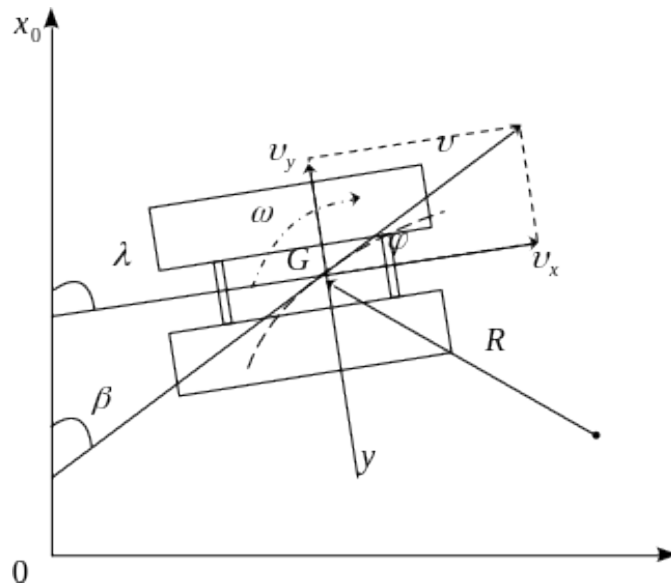


Рис. 2 – Схема исследования траектории плавающего робота при повороте

Угол траектории (β) или угол скорости, который измеряется между вектором скорости и X_0 осью. Для оценки влияния течения на управляемость плавающего робота анализируется их движение в двух случаях: с течением и без течения. Это осуществляется путем построения траекторий движения робота на основе исходных данных теста. Параметры движения робота можно определить через проекцию скорости центра тяжести на движущиеся оси и угловую скорость. Однако в некоторых ситуациях удобнее использовать альтернативные кинематические параметры: модуль скорости центра тяжести ($|v|$), угол сноса (φ) и угловую скорость. Такая система параметров позволяет более удобно описывать движение и анализировать его влияние на управляемость робота при различных условиях течения [7].

– абсолютная скорость транспортного средства относительно системы координат: угол траектории или угол скорости, измеренный между вектором скорости и осью [8].

v – абсолютная скорость транспортного средства относительно системы координат X_0OY_0 . : угол траектории или угол скорости, измеренный между вектором скорости и осью X_0 [7].

$$\begin{aligned} X &= \int_0^t v \cos(\beta) dt \\ Y &= \int_0^t v \sin(\beta) dt \end{aligned} \quad (1)$$

В отсутствие потока (скорость потока равна нулю) траектория робота подчиняется следующим принципам и уравнениям:

$$\begin{aligned} X &= \int_0^t v \cos(\beta + \omega t) dt = \int (v_x - at) \cos(\varphi + \omega t) dt \\ Y &= \int_0^t v \sin(\beta + \omega t) dt = \int (v_y - at) \sin(\varphi + \omega t) dt \end{aligned} \quad (2)$$

Эти уравнения описывают прямолинейное равномерное движение робота без учета влияния потока. Таким образом, при отсутствии потока машина будет двигаться прямолинейно со скоро-

стью v под углом к положительному направлению оси X .

Траектория катамарана под действием течения определяется следующим образом:

$$\begin{aligned}
 X &= \int v_i \cos(\beta + \omega t) dt = \int \left(\sqrt{v^2 + v_f^2 + v_c v_t \cos(\varphi_f)} \right) \cos(\beta + \omega t) dt \\
 Y &= \int v_i \sin(\beta + \omega t) dt = \int \left(\sqrt{v^2 + v_f^2 + v_c v_t \sin(\varphi_f)} \right) \sin(\beta + \omega t) dt
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

При наличии течения абсолютная скорость v_c относительно системы координат X_0OY_0 определяется, как показано на рисунке 3.

Результаты расчетной оценки влияния скорости течения на траекторию движения катамарана с использованием программы Python.

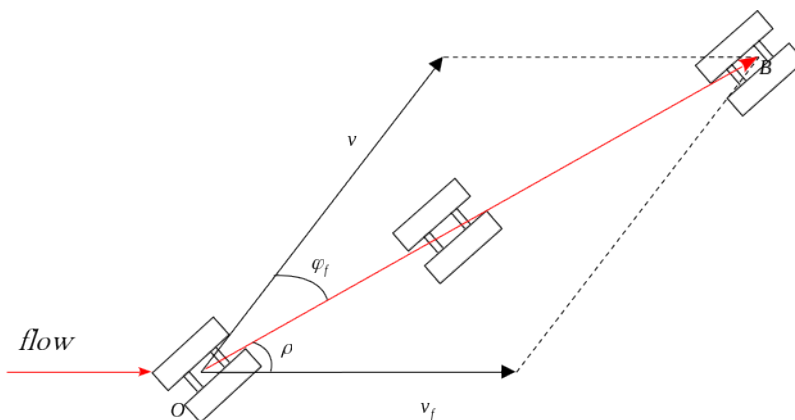


Рис. 3 – Схема исследования траектории плавающего робота при повороте под действием потока воды

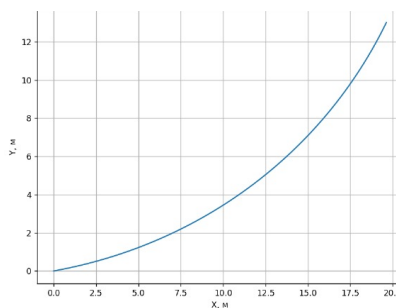


Рис. 4 – Траектория катамарана в течение первых 10 секунд (без учета и без учета течения)

Для наглядности предположим, что мы хотим рассчитать траекторию катамарана в течение первых 10 секунд (без учета и без учета течения)(Рис. 4).

Для расчета траектории катамарана с учетом скорости потока воды можно модифицировать уравнения движения с учетом дополнительной скорости, вызванной течением. Вам нужно будет сложить векторы скорости плавания и вектор скорости потока, чтобы определить конечную скорость автомобиля: По оси OX и OY. если мас-

са машины 75 кг, длина 1,57 м, ширина 0,515 м, высота 0,3, скорость плавания 0,5 м/с, угол сноса 0,1 рад., угол скорости 0,2 рад., относительный радиус поворота 0,75 м., угол скорости 0,05 рад/с., скорость первого потока 1,4 м/с, скорость второго потока 1 м/с. Начальная координата 0,0.

Разработка программного обеспечения для получения 2D, 3D карт дна. Полученные данные с борта, в частности от эхолотического устройства (данные о глубине) и HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ (данные GPS, данные о состоянии,

данные о траектории), передаются в удаленный командный центр (компьютер). Данные, полученные от HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+, отправляются в Mission Planner для мониторинга данных в реальном времени, таких как координаты GPS, высота, скорость, состояние батареи и другие параметры [9-10]. Эти данные можно сохранить в текстовый файл и отправить на веб-сервер для последующего сохранения в базе данных MySQL. Далее с помощью разработанного программного кода на Python и его библиотек данные обрабатываются и визуализируются в 2D и 3D графике. Для быстрой обработки используется библиотека NumPy, позволяющая конвертировать данные в удобный для анализа массив.

Созданный таким образом массив визуализируется с помощью библиотеки plotly. Для создания 2D и 3D графики используется экспресс-инструмент, который, получая ранее созданный массив данных, создает динамическое окно с графиками (Рис. 5). Затем Python создает html-файл с готовыми графиками. В это окно добавлены CSS-классы для более удобного интерфейса, с которым будет взаимодействовать пользователь (Рис. 6). Готовый html-файл отправляется клиенту приложения, где пользователь может его видеть и взаимодействовать с ним. На рисунке 5 3D карта дна хвостохранилища Жайремского горно-обогатительного комбината. Объект был исследован несколько раз для большей точности данных.

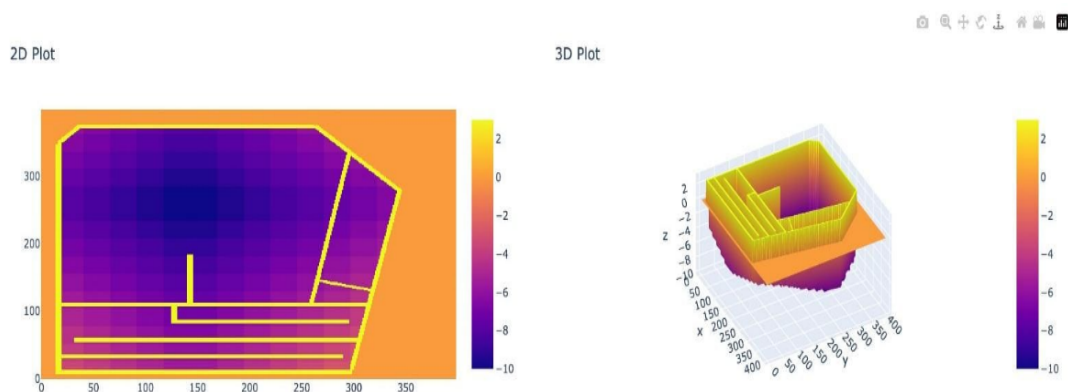


Рис. 5 – 2D, 3D карта дна хвостохранилища Жайремского горно-обогатительного комбината

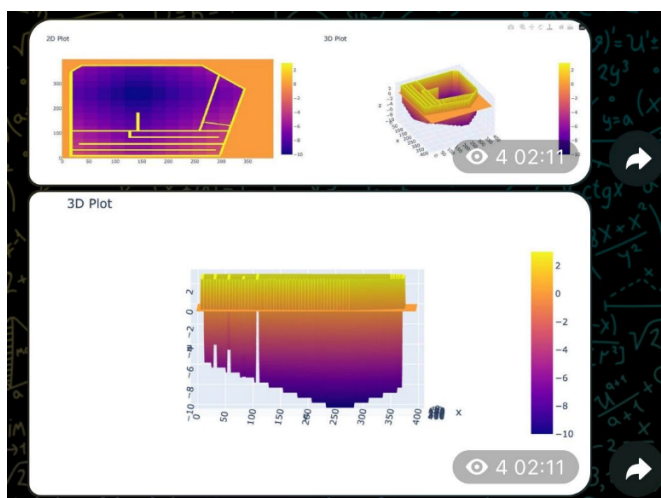


Рис. 6 – Телеграм бот

По результатам испытаний робототехнического комплекса получены данные об ошибке движения робота в системе координат, которая составляет примерно 0,2 метра по оси x и 0,1 метра по оси y . Во время испытаний температура, влажность, уровень кислорода (O_2) и концентрация частиц были практически постоянными. Также известно, что средняя глубина хвостохранилища составляет 4,56 метра.

На основании этих данных были произведены расчеты объема воды. Для этого были замерены площади водосборов различных участков: площадь водосбора участка баритового хвостохранилища - 2,5 км², площадь водосбора участка баритового хвостохранилища вместе с участком фильтрации - 0,38 км². Также установлено, что в пруду-окислителе скопилось 1,85 млн м³ воды, что соответствует уровню воды на отметке 392,55 метра.

Результаты расчетов позволили установить следующие факты:

В первом полугодии 2021 года был «нулевой» баланс без сброса излишков в пруд-испаритель. Этого удалось добиться за счет замачивания основания и заполнения участков хвостохранилища, что предотвратило сброс воды.

За последующий период до конца 2023 года зафиксировано превышение оборотной воды в пределах от 6704,443 до 24593,282 млн м³, которая сбрасывалась в пруд-испаритель. Это позволило контролировать уровень воды в системе и избежать перелива.

Также установлено, что площадь и объем прудов-отстойников участков хвостохранилища и пруда-окислителя обеспечивают:

Достаточное освещение оборотной воды, возвращаемой на завод в технологическом процессе, позволяет повторно использовать эту воду.

Возможность складирования объема хвостов, поступающих в пруды-отстойники в течение года, что способствует эффективному обращению с отходами.

Натурные эксперименты, проведенные с использованием мобильного роботизированного комплекса, позволили сделать вывод, что МРК

обеспечивает стабильную и надежную передачу данных. Преодоление помех, возникающих на выходах датчиков, было достигнуто за счет внедрения схем развязки, что значительно улучшило качество сигнала и обеспечило более точные измерения. Программное обеспечение, предназначенное для эффективного контроля и мониторинга функций работы системы при использовании на персональном ноутбуке. Это обеспечивает полный спектр функциональных возможностей предлагаемой системы и обеспечивает ее высокую практичность в реальных условиях эксплуатации. Следует отметить, что внедрение датчика воды в БППА дает водникам уникальную возможность осуществлять непрерывный мониторинг и контроль параметров качества воды на уязвимых и стратегически важных участках хвостохранилищ и водоемов. Такой подход значительно повышает эффективность и результативность управления водными ресурсами, способствуя более рациональному и обоснованному принятию решений в этой области.

Результаты и обсуждение. Рисунок 1 демонстрирует графическое представление траекторий полета БППА для разных сценариев. На рисунке 5 представлена 3D карта дна хвостохранилища Жайремского горно-обогатительного комбината, которая была визуализирована в результате ряда экспериментов с применением разработанного исследовательской группой проекта AP09058557 и авторами статьи МРК, над хвостохранилищем. Объект был исследован несколько раз для большей точности данных.

Исследование направлено на разработку и апробацию методов планирования траекторий для БППА с использованием программного пакета Mission Planner. Основной целью было улучшение точности и эффективности управления беспилотными аппаратами.

Наиболее значимые результаты включают улучшение времени полета и точности навигации при использовании новых алгоритмов планирования траекторий. Сравнение с другими исследованиями показывает сопоставимые или более высокие показатели эффективности разработанных методов. Однако проблемные зоны включа-

ют необходимость дальнейшей оптимизации алгоритмов для учета разнообразных условий полета.

В данной работе был представлен процесс построения траектории полета для беспилотных аппаратов с использованием HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и программного пакета Mission Planner. Этот процесс включает в себя учет различных параметров полета, таких как высота, скорость и курс, и позволяет эффективно управлять беспилотными аппаратами в соответствии с заданными целями. Основное внимание уделено безопасности и настройке датчиков и устройств, необходимых для автономного полета. Проведенный анализ движения мобильного робота, включая оценку углового ускорения и скорости с учетом воздействия течения, позволяет более точно планировать маршруты и управлять беспилотными аппаратами в различных условиях. Дополнительно, рассмотрены методы разработки программного обеспечения для получения и обработки данных о глубине морского дна с использованием HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и эхолотационного устройства. Этот подход открывает новые перспективы для исследования морских ресурсов с высокой точностью и безопасностью. Таким образом, представленная методика и результаты работы имеют важное значение для разработки и управления беспилотными аппаратами, а также для проведения исследований морского дна и его ресурсов. Дальнейшие исследования в этой области могут включать расширение функциональности программного обес-

печения, а также углубленный анализ влияния различных параметров на эффективность управления беспилотными аппаратами.

Выводы. В ходе исследования были рассмотрены методы планирования траекторий для беспилотных аппаратов с использованием программного пакета Mission Planner. Полученные результаты позволяют сделать вывод о повышении точности и эффективности управления БПЛА в различных сценариях полета. Были изучены специализированные программные пакеты и алгоритмы для планирования траекторий полета беспилотных аппаратов. Разработаны и апробированы методы построения траекторий с использованием оборудования HEX Pixhawk 2.1 CUBE ORANGE+ и программного пакета Mission Planner. Проведен анализ движения мобильных роботов с учетом воздействия течения, что позволило определить оптимальные стратегии управления в различных условиях. Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что применение специализированных методов планирования траекторий повышает эффективность управления беспилотными аппаратами. Таким образом, разработанные методы и алгоритмы имеют потенциал для широкого применения в области автономных систем и могут быть использованы для улучшения точности и эффективности управления беспилотными аппаратами.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта МОН РК в рамках проекта AP09058557 по договору №03-КМУ2 от 24 февраля 2021 года.

Литература

1. Shubhani Aggarwal, Neeraj Kumar. Path planning techniques for unmanned aerial vehicles: A review, solutions, and challenges // Computer Communications. - 2020. – Vol. 149. - P. 270-299. DOI: 10.1016/j.comcom.2019.10.014.
2. Faiyaz Ahmed, J.C. Mohanta, Mohd. Nayab Zafar. Development of smart quadcopter for autonomous overhead power transmission line inspections // – 2022. – Vol. 51(1). -P. 261-268. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.05.271
3. How to connect a PixHawk Cube or similar system - a simple overview. –URL: <https://www.youtube.com/watch?v=tIE8IN71UFI>. (date of application 15.06.2024)
4. All the confusing names in 'Pixhawk' explained (Mission Planner, PX4, Ardupilot Pixhawk etc.) – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=0vBXFjhw-5M>. (date of application 15.06.2024)

5. Khosyi'In, M., Budisusila, E.N., Dwi Prasetyowati S.A., Suprpto B.Y.; Nawawi Z. Design of Autonomous Vehicle Navigation Using GNSS Based on Pixhawk 2.1 // International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI). – 2021. -P. 175 – 180. DOI: 10.23919/EECSI 53397.2021.9624244.
6. Mission Planner Overview, 2021, [online] Available. –URL: <http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-overview.html>. (date of application 15.06.2024)
7. Myasishev, O. O., Lienkov, S. V., Ovcharuk, V. V., Tolok, I., Lytvynenko, N., Zinchyk, A. G., & Lytvynenko, O. I. Large-capacity quadcopter's designing on the controllers of the pixhawk cube family. 75. -2022. –P. 108-118. DOI: 10.17721/2519-481x/2022/75-11
8. S. Fujita and S. Mae Causes and Nature of ice-sheet radio-echo internal reflection estimated from the dielectric properties of ice // Annals of glaciology. -1994. -Vol. 20. -P. 80-86.
9. Nicolas A.; Olmedo and Michael G. Lipsett. 2016. Design and field experimentation of a robotic system for tailings characterization // Journal of Unmanned Vehicle Systems. –Vol. 4(3). –P. 169-192. DOI 10.1139/juvs-2015-0034.
10. Lienkov, S., Myasishev, A. A., Ovcharuk, V., Lenkov, E., & Lytvynenko, N.. Development of Multifunctional Rotary UAV Based on Pixhawk Family Flight Controllers. -2023. –Vol. 18(1). DOI: 10.3849/aimt.01752

Сведения об авторах

Жартыбаева М.Г.-PhD., Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: makkenskii@mail.ru;

Алинова А.Д.-Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: alinova-aida@mail.ru;

Оралбекова Ж.О. -PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: oralbekova@bk.ru;

Тюлепбердинова Г.А.-к.ф.-м.н., доцент, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: tyulepberdinova@gmail.com;

Жамишева Н.М.--«Институт законодательства и правовой информации Республики Казахстан» Министерства юстиции Республики Казахстан, главный специалист отдела поддержки информационных систем, Астана, Казахстан, e-mail: nuray_zhamisheva33@gmail.com.

Information about the authors

Zhartybayeva M.G. -PhD., L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: makkenskii@mail.ru;

Alinova A/D.- L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: alinova-aida@mail.ru;

Oralbekova Zh. O. -Ph.D., L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan, e-mail: oralbekova@bk.ru;

Tyulepberdinova G.A.- PhD, associate professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tyulepberdinova@gmail.com;

Zhamisheva N.M. - Institute of Legislation and Legal information of the Republic of Kazakhstan” Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan, Chief specialist of the information systems support department, Astana, Kazakhstan, e-mail: nuray_zhamisheva33@gmail.com.

THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN CALCULATING THE PRODUCTIVITY OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF CERAMIC PRODUCTS BASED ON MAN-MADE RAW MATERIALS

¹К. Akishev[✉], ²К. Aryngazin, ³В. Biybosynov

¹Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,

²”EcostroyNII-PV” LLP, Pavlodar, Kazakhstan,

³Kyrgyz State University named after I. Arabaev

[✉]Corresponding author: Akmail04cx@mail.ru

Currently, a large amount of man-made waste has been stored on the territory of the Republic of Kazakhstan, which, by their chemical and mineral properties, are a serious raw material base for the production of building materials.

The quality indicators of raw materials affect not only the physical and strength characteristics of the finished product, but also the cost. In our study, we use man-made raw materials for the production of construction products, as additives to clay for the semi-dry method of producing ceramic products, since this method is less labor-intensive and does not require large financial investments. One of the most important characteristics of technological equipment is performance. Technological equipment for the production of construction products is represented on the market of Kazakhstan by leading foreign companies, including Chinese, Russian, Turkish, Spanish, Kazakh manufacturers are not included in this list. Technological equipment can produce products from a certain type of raw materials, for which such parameters as productivity, quality indicators of raw materials and others are indicated in the technical documentation. That is, when using technogenic raw materials as additives to the charge, it is not possible to determine productivity, for objective reasons. In this regard, the task of calculating the productivity of the technological line for the production of ceramic products using information technology is relevant.

As a software tool in the study, the program ”Simulation model of a technological line for the production of construction products using industrial waste” is used, written in C++, in accordance with the principles of object-oriented programming. Performance calculations were performed for technological equipment Titanium 900-120 DHEX press, Titanium 80 D press. The presented program can be used by individual entrepreneurs not only to calculate productivity, output volume, but also to justify the choice of technological equipment for the production of ceramic products.

Keywords: modeling, information technology, programming language, program, technological equipment, productivity, ceramic products.

ТЕХНОГЕНДІК ШИКІЗАТ НЕГІЗІНДЕ КЕРАМИКАЛЫҚ БҰЙЫМДАР ӨНДІРІСІНІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЖАБДЫҒЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІН ЕСЕПТЕУ КЕЗІНДЕ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУ

¹К. Акишев[✉], ²К. Арынгазин, ³Б. Бийбосынов

¹Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті АҚ, Астана, Қазақстан,

²”ЭкостройНИИ-ПВ” ЖШС директоры, Павлодар қ., Қазақстан,

³И. Арабаев атындағы Қырғыз мемлекеттік университеті, Қырғызстан,

e-mail: Akmail04cx@mail.ru

Қазіргі уақытта Қазақстан Республикасының аумағында өзінің химиялық-минералды қасиеттері бойынша құрылыс материалдарын өндіру үшін елеулі шикізат базасы болып табылатын техногендік қалдықтардың көп мөлшері жинақталған.

Шикізаттың сапалық көрсеткіштері дайын өнімнің физикалық және беріктік сипаттамаларына ғана емес, сонымен қатар өзіндік құнына да әсер етеді. Біздің зерттеуімізде біз құрылыс өнімдерін өндіру үшін техногендік шикізатты керамикалық бұйымдарды өндірудің жартылай құрғақ әдісі үшін сазға қоспалар ретінде қолданамыз, өйткені бұл әдіс аз еңбекті қажет етеді және үлкен қаржылық инвестицияларды қажет етпейді. Технологиялық жабдықтың маңызды сипаттамаларының бірі-Өнімділік. Құрылыс бұйымдарын өндіруге арналған технологиялық жабдықты Қазақстан нарығында жетекші шетелдік компаниялар, оның ішінде қытайлық, ресейлік, түрік, испандық компаниялар ұсынады, қазақстандық өндірушілер бұл тізімде жоқ. Технологиялық жабдық шикізаттың белгілі бір түрінен өнім шығара алады, ол үшін техникалық құжаттамада өнімділік, шикізаттың сапалық көрсеткіштері және басқалары сияқты параметрлер көрсетіледі. Яғни, шихтаға, техногендік шикізатқа қоспалар ретінде пайдаланған кезде объективті себептер бойынша өнімділікті анықтау мүмкін емес. Осыған байланысты ақпараттық технологияларды қолдана отырып, керамикалық бұйымдарды өндірудің технологиялық желісінің өнімділігін есептеу міндеті өзекті.

Зерттеуде бағдарламалық құрал ретінде объектіге бағытталған бағдарламалау қағидаттарына сәйкес ЕО тілінде жазылған "өнеркәсіптік өндіріс қалдықтарын пайдалана отырып, құрылыс бұйымдарын өндірудің технологиялық желісінің имитациялық моделі" бағдарламасы қолданылады. Өнімділік есептеулері Технологиялық жабдыққа арналған Титан 900-120 DHEX Пресс, Титан 80 D пресс. Ұсынылған бағдарламаны жеке кәсіпкерлер өнімділікті, өнім көлемін есептеу үшін ғана емес, сонымен қатар керамикалық бұйымдарды өндіруге арналған технологиялық жабдықты таңдауды негіздеу үшін де қолдана алады.

Түйін сөздер: модельдеу, ақпараттық технологиялар, бағдарламалау тілі, бағдарлама, технологиялық жабдық, өнімділік, керамикалық бұйымдар.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

¹К.Акишев✉, ²К.Арынгазин, ³Б.Бийбосынов

¹ АО "Казахский университет технологии и бизнеса им. Кулажанова", Астана, Казахстан,

²ТОО "Экостройнии-ПВ", г. Павлодар, Республика Казахстан,

³Кыргызский государственный университет имени. И. Арабаева, Кыргызстан,

e-mail: Akmail04cx@mail.ru

В настоящее время на территории Республики Казахстан, складировано большое количество техногенных отходов, которые по своим химико-минеральным свойствам являются серьезной сырьевой базой для производства строительных материалов.

Качественные показатели сырья влияют не только на физические и прочностные характеристики готовой продукции, но и на себестоимость. В нашем исследовании мы для производства строительных изделий, используем техногенное сырье, в качестве добавок к глине для полусухого способа производства керамических изделий, так как данный способ менее трудозатратен и не требует

больших финан-совых вложений. Одним из важнейших характеристик технологического оборудо-вания является производительность. Технологическое оборудование для производства строитель-ных изделий, пред-ставлено на рынке Казахстана, ведущими зарубежными компаниями, в том числе китайскими, российскими, турецкими, испанскими, казахстанские производители в данном списке отсутствуют. Технологическое оборудование может производить продукцию из определенного вида сырья, для которых в технической документации указывается, такие параметры, как производи-тельность, качественные показатели сырья и другие. Т.е., при использовании в качестве добавок к ших-те, техно-генного сырья, не возможно определить производительность, по объективным причинам. В этой связи актуальна задача расчета производительности технологической линии производства керамичес-ких изделий с использованием информационных технологий.

В качестве программного инструмента в исследовании, применяется программа «Имитационная модель технологической линии производства строительных изделий с использованием отходов про-мышленного производства» написанная на языке C++, в соответствии с принципами объектно-ориентированного программирования. Расчеты производительности выполнены для технологическо-го оборудования пресс Титан 900-120 DHEX, пресс Титан 80 D. Представленная программа может быть использована индивидуальными предпринимателями не только для расчета производи-тельности, объема выпускаемой продукции, но и для обоснования выбора технологического оборудования для производства керамических изделий.

Ключевые слова: моделирование, информационные технологии, язык программирования, прог-рамма, технологическая оборудование, производительность, керамические изделия

Introduction. Clay has been used for centuries as a building material for the production of building products and household utensils. Currently, the qualitative composition of clay is regulated by ST RK 2652-2016 [1].

To date, the growth of ceramic construction products in Kazakhstan is more than 56% [2] with geometric growth, as the number of residential buildings, office and warehouse premises increases.

Plastic, semi-dry and rarely slip methods are used for the production of ceramic bricks [3].

The plastic pressing method is carried out from clay with a moisture content of 18-24%, on tape, screw presses.

Semi-dry and dry pressing methods use raw materials with a moisture content of 8-12 and 2-8%. Bricks, facade tiles, floor tiles, and paving slabs are formed in a semi-dry way. Knee-lever, rotary, and friction presses are used for pressing ceramic products.

The technological equipment for the production of ceramic products includes, equipment for the preparation of the charge uses the following types of equipment:

- vehicles used for the delivery and extraction of raw materials (dump trucks, excavators, bulldozers);
- receiving bins for raw materials;
- conveyors for feeding raw materials;
- rolling machines (disintegrators) carrying out grinding;
- pressing and forming equipment;
- Drying chambers;
- brick kilns [4].

Certain requirements for plasticity and moisture content are imposed on raw materials for the production of bricks in order to improve physical characteristics.

Since the production process of ceramic products is sufficiently debugged, and the composition of raw materials is known, the productivity of technological equipment is determined in a practical way, but factors affecting the flow of the technological process, changes in the composition of raw materials, changes in the working cycle are not taken into account, respectively, there is no scientific justification for calculating the productivity of that

for various types of technological equipment.

Materials and methods. To calculate the productivity of technological equipment, the program "Simulation model of a technological line for the production of construction products using industrial waste" is used [5], the algorithm of the program allows it to be used to simulate the performance of technological equipment of various types of construction products. The program is written in C++, using the principles of object-oriented programming.

Discussion of the results. The composition of the raw materials used for the production of ceramic products is described below.

Clay from the quarry of the deposit Near schools (Akmola region) was used for research fig. 1.

Bauxite sludge (Pavlodar Aluminum plant) fraction-1 (see fig.2), fly ash (Ekibastuz Gres -1) fraction- (see fig.3), metallurgical slag of Casting LLP fraction- 1 (see fig.4), river sand, fraction-1 (see fig. 5).



Figure 1 - Clay from the Ushkol quarry



Figure 2 - Bauxite sludge (Pavlodar Aluminum Plant) fraction-1



Figure 3 - Fly ash (Ekibastuz Gres -1) fraction-1



Figure 4–Metallurgical slag of Casting LLP fraction- 1



Figure 5 - River sand fraction- 1

The program allows you to simulate the operation of technological equipment for the production of various construction products, including ceramic

ones. Changes in the program related to the exclusion of the weight parameters "cement", various additives

that are not part of the raw materials for the production of ceramic products, as well as the inclusion of the parameter "clay" ensure that the model approximates the real technological process. [6]. The algorithm of the program is described in detail in [7].

Listing 1 shows a fragment of a program for calculating the productivity of technological equipment for the production of ceramic products based on man-made raw materials.

```
float Norm(float, float);
float ST[4]; // list of events:
// ST[0]- the end of the mixture formation by the z0 device and
// transfer to mixing
// ST[1]- the end is mixing the mixture and pouring water z1
// and transfer semi-dry to the molding matrix
// ST[2] - the end of the molding, the release of finished products z2
// ST[3]- simulation interval in min 8*60=480 - one shift
Float Tt; // system time
class OA0 // service class. a device that forms a dry mixture
{private:
public:
float Massa[NNp]; // the actual mass of the components of the mixture,
// case. value(+/- dispenser error)
int ne; // the current number of the container to which the OA is
// connected, ne =0.1,...4
```

When calculating the productivity of the products, the raw material "clay" was used, the class technological line for the production of ceramic OA1 was changed accordingly.

Listing 2 Class OA1 description program.

```
class OA1 // class-a maintenance apparatus that feeds clay and mixes
{ private:
// Parameters OA:
public:
float tmixed; // mixing time
float dtmatrica; // the time of transfer of the mixture to the matrix
int sost; // 0- he is free and can take the mixture
// 1 - the dry components have been transferred, the device
// is busy adding
// add the clay to the mixture and mix before transferring
// the mixture
// to the bunker, ordered the end time of the transfer
// 2- simple, because it cannot transmit the mixture - the
// trace. OA is busy
// 3 - simple, because no, the ingredient has run out (there
// is nothing to serve)
//float massat; // the mass of the current charge transferred to the
// mixture.
Float summamass; // the mass of the dry mixture in OA transferred to
// the mixture.
```

```

//float Sum;
Float och;
float proisv;
float gen1();
OA1();
Int Fobr();
Void display();
};

```

Class OA2 ensures the formation of ceramic products.

Listing 3 Class description program OA2.

```

class OA2 // The class is a service device that presses the mixture and
delivers the finished product
{ private:
    // float massat; // the mass of the current mixture transferred to
    the molding matrix
public:
float dtproduction;// time of transfer of finished products
int sost;// 0- he is free and can take a ready-made mixture
        // 1 - I am busy with the transfer of finished products and
        ordered the transfer time

Float Sum;
Float vmatr; // the volume of the matrix, kg
    Int ki; // the number of products in the matrix
    Float summamass; // the mass of the mixture in OAO
Float vsego;// total mass of products
    OA2();
Float och;
Float gen();//Working cycle time
Void Fobr();//processing function
Void display();
};
OA0 z0;
    OA1 z1;
    OA2 z2;

Float MassaKomp[NNp];
Float MassaKompSklad[NNp];
    // NNp=0- Clay, NNp=1-sand, NNp=2 - no, NNp=3- ash
    // NNp=4- metallurgical slag, NNp=5-no, NNp=6- bauxite sludge
    // NNp=7 - no NNp=8 - no
Float smes[NNp]; // the percentage composition of the mixture
float MassaSmesy;// the planned total mass of the mixture, quantum,
    indivisible portion
float vsmes;// The volume of the mixer with the finished mixture
float massaproduction;

```

Figure 6 - Menu of the program for calculating the productivity of technological equipment for the production of ceramic products with additives of man-made raw materials

Fig. 6 shows the program menu for calculating the productivity of technological equipment for the production of ceramic products with additives of man-made raw materials.

The program menu shows 4 main parts:

1-raw materials in the warehouse of the enterprise;

2-the formulation of a mixture for the production of ceramic products, makes it possible to simulate production with various additives and volumes of artificial raw materials;

3-changing the parameters allows you to present the real picture of the technological process as

adequately as possible, in a digital display of technical characteristics;

4-the simulation interval will allow you to calculate the performance of technological equipment most accurately by setting any number of iterations.

As it was presented above, a semi-dry production method was used in the study, it is assumed that the humidity of the mixture is 6-7%, while additional equipment for drying products is not required.

Technological equipment for calculating productivity is represented by Titanium 900-120DH EXpress brands Fig.7.



Figure 7 - Titanium Press 900-120 DHEX

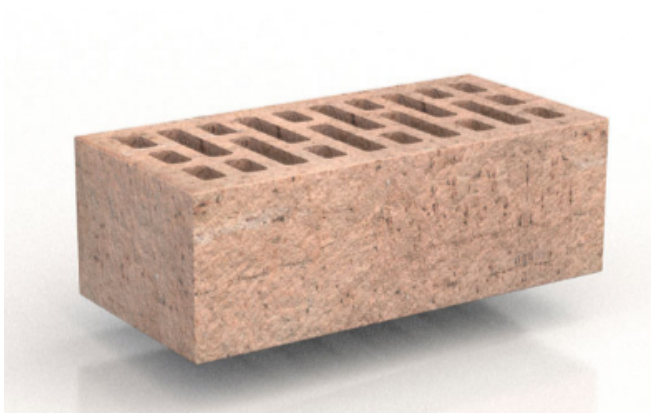


Figure 8 - Ordinary hollow ceramic brick



Figure 9 - Ordinary full-bodied ceramic brick

Let's calculate the productivity for 2 types of ceramic products, fig.8,9.

The technical characteristics of the processing line are indicated in the passport of the Titanium 900-120 hexagonal press :

The duration of the working cycle is 11-12 minutes;

The drive power is 90 kW.

The number of products is 16 pcs.

The weight of the product is 3.7 kg and 4.3 kg (calculated taking into account the additives of artificial raw materials).

The results of calculating the performance of the Titanium 900-120 hexagonal press are shown in Fig. 10;11.

Raw material			Parameters of technological equipment	
Clay	Sand	Gravel	The number of products in the matrix	Dispenser capacity, kg/min
50000	15000	10000	16	100
Ash	Metallurgical slag	Additive	Volume, mixer, kg	Dispenser capacity, kg
25000	15000	100	400	100
Bauxite sludge	Water		Working cycle time, min	Working transfer time of the product,
15000	1000		11	0,6
The composition of the mixture formulation			Mixer volume, kg	Product transfer time, min
Clay	Sand	Gravel	500	0,5
50	10	0	The volume of the matrix, kg	Dosing error, %
Ash	Metallurgical slag	Additive	59, 2	10
14	10	0	Used UP	
Bauxite sludge	Water		Weight of the component [0]-6180, 8	
10	6		Weight of the component [1]-1236, 1	
Simulation interval, min	Iterations		Weight of the component [3]-0	
480	5		Weight of the component [4]-1730, 6	
			Weight of the component [5]-1236, 1	
			Weight of the component [6]-0	
			Weight of the component [7]-1236, 1	
			Weight of the component [8]-741, 7	
			Number of products: 3341 pieces. SD products=20	
START			About	

Figure 10 - Calculation of the productivity of technological equipment in the production of ordinary hollow ceramic bricks

Raw material			Parameters of technological equipment	
Clay	Sand	Gravel	The number of products in the matrix	Dispenser capacity, kg/min
50000	15000	10000	16	100
Ash	Metallurgical slag	Additive	Volume, mixer, kg	Dispenser capacity, kg
25000	15000	100	400	100
Bauxite sludge	Water		Working cycle time, min	Working transfer time of the product,
15000	1000		11	0,6
The composition of the mixture formulation			Mixer volume, kg	Product transfer time, min
Clay	Sand	Gravel	500	0,5
50	10	0	The volume of the matrix, kg	Dosing error, %
Ash	Metallurgical slag	Additive	66,8	10
14	10	0	Used UP	
Bauxite sludge	Water		Weight of the component [0]-6003	
10	6		Weight of the component [1]-1201	
Simulation interval, min	Iterations		Weight of the component [3]-0	
480	5		Weight of the component [4]-1681	
			Weight of the component [5]-1201	
			Weight of the component [6]-0	
			Weight of the component [7]-1201	
			Weight of the component [8]-720	
			Number of products: 2792 pieces. SD products=44	
START			About	

Figure 11–Calculation of the productivity of technological equipment in the production of ordinary full-bodied ceramic bricks

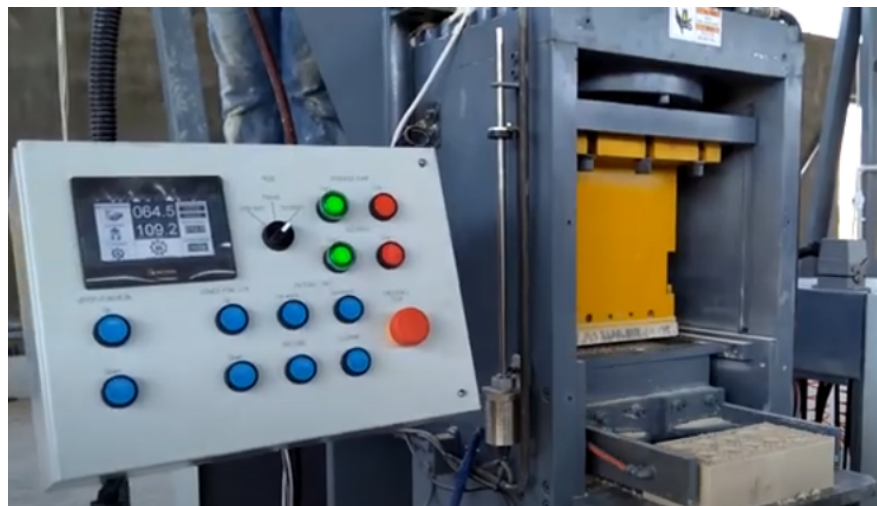


Figure 12 - Titanium 80 D Press

Similar calculations of the performance of technological equipment are calculated by the program for the Titanium 80D press fig.12.

The technical characteristics of the processing line are given in the passport of the Titanium 80D press:

The duration of the working cycle is 2-3 minutes;
The drive power is 15 kW.

The number of products is 1 pc.

The calculation of the productivity of the Titanium 80D press for two types of ceramic bricks is shown in Fig. 13;14.

Raw material			Parameters of technological equipment	
Clay	Sand	Gravel	The number of products in the matrix	Dispenser capacity, kg/min
50000	15000	10000	1	100
Ash	Metallurgical slag	Additive	Volume, mixer, kg	Dispenser capacity, kg
25000	15000	100	400	100
Bauxite sludge	Water	Working cycle time, min	3	Working transfer time of the product, 0.6
15000	1000	Mixer volume, kg	500	Product transfer time, min 0.5
The composition of the mixture formulation			The volume of the matrix, kg	Dosing error, %
Clay	Sand	Gravel	3,7	10
50	10	0	Used UP	
Ash	Metallurgical slag	Additive	Weight of the component [0]-1424, 5	
14	10	0	Weight of the component [1]-284, 9	
Bauxite sludge	Water	Weight of the component [3]-0		
10	6	Weight of the component [4]-399		
Simulation interval, min	Iterations	Weight of the component [5]-284, 9		
480	5	Weight of the component [6]-0		
START		Weight of the component [7]-284, 9		
About		Weight of the component [8]-171		
		Number of products: 770 pieces. SD products=20		

Figure 13 - Calculation of the productivity of technological equipment in the production of ordinary hollow ceramic bricks

Raw material			Parameters of technological equipment	
Clay	Sand	Gravel	The number of products in the matrix	Dispenser capacity, kg/min
50000	15000	10000	1	100
Ash	Metallurgical slag	Additive	Volume, mixer, kg	Dispenser capacity, kg
25000	15000	100	400	100
Bauxite sludge	Water	Working cycle time, min	3	Working transfer time of the product, 0.6
15000	1000	Mixer volume, kg	500	Product transfer time, min 0.5
The composition of the mixture formulation			The volume of the matrix, kg	Dosing error, %
Clay	Sand	Gravel	4,3	10
50	10	0	Used UP	
Ash	Metallurgical slag	Additive	Weight of the component [0]-1711, 4	
14	10	0	Weight of the component [1]-342, 2	
Bauxite sludge	Water	Weight of the component [3]-0		
10	6	Weight of the component [4]-479, 2		
Simulation interval, min	Iterations	Weight of the component [5]-342, 2		
480	5	Weight of the component [6]-0		
START		Weight of the component [7]-342, 2		
About		Weight of the component [8]-205, 4		
		Number of products: 796 pieces. SD products=34		

Figure 14–Calculation of the productivity of technological equipment in the production of ordinary full-bodied ceramic bricks

Conclusion. The developed program allows you to perform calculations of the productivity of technological equipment for semi-dry and dry methods of forming ceramic products, for various types of molding matrices;

- 1) perform calculations of the productivity of types of molding matrices;

2) provides an opportunity to control the volume of raw materials in the warehouse; of technological equipment and a small volume of production.

3) determine the calendar plan for the production of ceramic products; Existing developments related to simulation modeling are mainly related to solving logistical problems, describing components and strategies, and discrete events in particular [8-10], which today opens up the possibility of wider use of all information technology capabilities for the practical implementation of engineering calculation tasks.

4) flexibly respond to changes in the technological parameters of the production process.

The program can be useful both for technologists of enterprises producing construction products, and for individual entrepreneurs with a limited number

References

1. Glini dlya proizvodstva vyazhyshikh materialov. Tekhnicheskie usloviya [Clays for the production of binders Technical conditions] [Electronic resource] [Access code]: URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=36318361&pos=3;-106#pos=3;-106 [in Russian]
2. Ob'em proizvodstva stroi materialov v Kazakhstane viros na 38,7% za devyat' mesyacev [The volume of construction materials production in Kazakhstan increased by 38.7% in nine months] [Electronic resource] [Access code]: URL: <https://qazindustry.gov.kz/anketa/article/1974-obem-proizvodstva-stroymaterialov-v-kazakhstane-vyros-na-387-za-devyat-mesyatsev> [in Russian]
3. Polysykhoe pressovanie keramicheskogo kirpicha. [Semi-dry pressing of ceramic bricks] [Electronic resource] [Access code]: URL: <https://www.vgpress.ru/polusuhoepressovanie-kirpicha/> [in Russian]
4. Tekhnologiya proizvodstva kirpicha. [Brick production technology] [Electronic resource] [Access code] URL: <https://keramikprof.ru/tehnologiya-proizvodstva-kirpicha/> [in Russian]
5. Akishev K. Programma dlya EVM «Imitacionnaya model tekhnologicheskoi linii proizvodstva stroitelnykh izdelii s ispolzovaniem otkhodov promishlennogo proizvodstva». Svidetelstvo o vnesenii svedenii v gosydarstvennii reestr prav na ob'ekti, okhranyaemie avtorskim pravom. [The program for "Simulation model of a technological line for the production of construction products using industrial waste". Certificate of entry of information into the state register of rights to objects protected by copyright.] №6653 ot 26.11.2019
6. Akishev K and other. Mathematical formulation and the problem solution of clustering recipes of concrete mixtures using technogenic waste and slags of metallurgical enterprises. *Metalurgija.*- 2022.- 61(1).-P.213–216. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57267522000>
7. Akishev.K., and other. Monografiya. Inzhernoe modelirovanie slozhnykh tekhnologicheskikh sistem (proizvodstvo stroitelnykh izdelii s ispolzovaniem tekhnogennykh otkhodov). [Monograph. Engineering modeling of complex technological systems (production of construction products using man-made waste).] Lantar-Books Publishing House, Almaty, 2023.-142c, 500 inst. ISBN 978-601-361-254-6. <http://lantarbooks.kz/ru/shop/inzhernoe-modelirovanie-slozhnyh-tehnologicheskikh-sistem-proizvodstvo-stroitelnyh-izdeliy-s-ispol-zo-vaniem-tehnogennyh-othodov-monografiya>
8. Kamil Szczesny. Adjusted recombination operator for simulation based construction schedule optimization [Text]/ Szczesny Kamil // Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference. -P. 652-661.997788--11--44667733--44778802--28//1122//©2012 IEEE. <https://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/inv158.pdf>
9. Basnet. C. B. Experiences in developing an object-oriented modeling environment for manufacturing systems [Text]/ C. B. Basnet // Proceedings of the 1990 Winter Simulation Conference. -P. 477-481. <https://ieeexplore.ieee.org/document/129563>

10. Preston K, Ricki J. The basics of simulation [Text]/ K. Preston, J/ Ricki // Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference. -P.38-48/978-1-5090-4486-3/16 ©2016 IEEE. <https://informs-sim.org/wsc16papers/007.pdf>

Information about the authors

Akischev K. M. - Candidate of Technical Sciences, Ass. Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail:akmail04cx@mail.ru;

Aryngazin K.Sh.-Candidate of Technical Sciences, Professor, Director of EcostroinII-PV LLP, Pavlodar, Kazakhstan, kapar47@mail.ru;

Biybosynov B.I. -Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mathematics and Computer Science of the I. Arabaev Kyrgyz State University, Bishkek, Kyrgyzstan, bbolotbek@mail.ru

Информация об авторах

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

Арынгазин К.Ш.-к.т.н., профессор, директор ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ», г. Павлодар, Казахстан, kapar47@mail.ru;

Бийбосынов Б.И. -д.ф.м.н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» Кыргызского государственного университета имени И. Арабаева., г. Бишкек, Кыргызстан,bbolotbek@mail.ru

МҰНАЙДЫ БАСТАПҚЫ ӨНДЕУ ҚОНДЫРҒЫСЫНДА ТҰРАҚТЫ БЕНЗИН ӨНДІРУ ПРОЦЕСІН АЙҚЫНСЫЗДЫҚТА МОДЕЛЬДЕРІ НЕГІЗІНДЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ ТӘСІЛІ

¹Б.Б. Оразбаев, ²Л.Т. Салыбек✉, ³Л.Т. Курмангазиева, ⁴В.И. Терехов, ⁵Б.Е. Утенова,
³В.Е. Махатова, ³А.С. Өтебаева

¹ Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

² М.О. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

³ Х. Досмухамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан,

⁴ Н.Э. Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, Москва, Ресей,

⁵ С. Утебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан

✉ Корреспондент-автор: lyaklai.36972@mail.ru

Бұл мақалада мұнайды бастапқы өңдеу қондырғысының мақсаттық өнімі болып табылатын тұрақты бензин өндіру процесін оның математикалық негіздері негізінде айқынсыздық жағдайында оңтайландыру мәселелері зерттеліп, оларды тиімді шешу әдістемелері ұсынылған. Қазіргі уақытта мұнай өңдеу өндірісінде мұнайды бастапқы өңдеу қондырғысында өтетін негізгі процесстердің оңтайландыру есебін шешу алынған мұнай өнімдерін ары қарай терең өңдеу процесстері тиімділігін қамтамасыз ететіндіктен аса өзекті ғылыми, өндірістік мәселенің біріне жатады. Осыған байланысты бұл зерттеуде Атырау мұнай өңдеу зауытының мұнайды бастапқы өңдеу қондырғысының мақсатты өнімі – тұрақты бензин өндіру процесін ондағы айқынсыздық жағдайында оңтайландыру есебі математикалық тұжырымдалып, оны айқын емес ортада тиімді шешу үшін эвристикалық тәсілдеме ұсынылған.

Орындалған зерттеулер нәтижесінде мұнайды бастапқы өңдеу қондырғысының тұрақтандыру колоннасы сияқты кей параметрлері айқынсыздықпен сипатталатын күрделі нысандардың математикалық модельдерін құрып, олардың негізінде нысанның айқынсыздықта жұмыс режимін тиімді оңтайландыратын эвристикалық тәсілдеме әзірленген. Тұрақтандыру колоннасынан алынатын тұрақты бензин мен газ көлемдерін колоннаның кіріс, режимдік параметрлерне байланыста анықтайтын модельдер регрессорларды тізбектей қосу тәсілдемесі мен ең кіші квадраттар тәсілін жүйелі қолдану арқылы, эксперименталдық-статистикалық деректер негізінде идентификацияланған. Ал тұрақты бензинің айқынсыздықпен сипатталатын сапа көрсеткіштерін бағалайтын айқын емес модельдер эксперименттік бағалау, айқын емес жиындар тәсілдері арқылы модификацияланған регрессорларды тізбектей қосу мен ең кіші квадраттар тәсілдері негізінде құрылған. Алынған тұрақтандыру колоннасы модельдері негізінде тұрақты бензин өндіру процесін айқынсыздықта тиімді оңтайландыру үшін әзірленген эвристикалық алгоритм Парето оптималдық пен идеалды нүкте оптималдық принциптері мен олардың комбанациясын айқынсыздыққа модификациялауға негізделген.

Түйін сөздер: көпкритерийлі оңтайландыру, айқын емес ақпарат, айқын емес модель, айқынсыздықта шешім қабылдау, мұнайды бастапқы өңдеу қондырғысы, тұрақты бензин.

METHOD FOR OPTIMIZATION OF THE PRODUCTION PROCESS OF STABLE GASOLINE AT PRIMARY OIL PROCESSING UNITS IN A FUZZY ENVIRONMENT BASED ON OBJECT MODELS

¹B. Orazbayev, ²L. Salybek✉, ³L. Kurmangaziyeva, ⁴V. Terekhov, ⁵B. Utenova, ³B. Makhatova, ³A. Otebayeva

¹ L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

² M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

³ Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Atyrau Kazakhstan,

⁴ N. Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian,

⁵ S Utebaev Atyrau Oil and Gas University, Atyrau, Kazakhstan,

e-mail: lyaklai.36972@mail.ru

This article examines the problems of optimizing the production process of stable gasoline based on models of the object, which is the target product of a primary oil refining installation, and proposes approaches to their effective solution. Currently, solving the problem of optimizing the main processes at a primary oil processing plant in the oil refining industry is one of the most pressing scientific and production problems, as it ensures the efficiency of further deep processing of the resulting petroleum products. In this regard, this study formulates a mathematical formulation of the problem of optimizing the production process of stable gasoline - the target product of the primary oil refining installation of the Atyrau Oil Refinery, characterized by uncertainty, and proposes a heuristic approach for its effective solution in a fuzzy environment.

As a result of the research, mathematical models of complex objects characterized by ambiguity of some parameters, such as the stabilization column of a primary oil treatment plant, were developed, and on their basis a heuristic approach was developed that effectively optimizes the operation of the object in conditions of uncertainty. Models that determine the volumes of gasoline and gas from the stabilization column depending on the input operating parameters of the column are determined on the basis of experimental statistical data and the systematic application of the approach of sequential sequential connection of regressors and the least squares method. Fuzzy models that evaluate vaguely described quality indicators of stable gasoline are synthesized on the basis of expert assessment methods, fuzzy sets and modified methods of sequential inclusion of regressors, least squares. Based on the obtained models of the stabilization column, a heuristic algorithm has been developed for the effective optimization of the production process of stable gasoline under conditions of fuzzy conditions, based on a modification and combination of the principles of Pareto optimality and the ideal point for working in a fuzzy environment.

Keywords: multicriteria optimization, fuzzy information, fuzzy model, decision making in a fuzzy environment, primary oil refining unit, stable gasoline.

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СТАБИЛЬНОГО БЕНЗИНА НА УСТАНОВКАХ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ В НЕЧЕТКОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТА

¹Б.Б. Оразбаев, ²Л.Т. Салыбек✉, ³Л.Т. Курмангазиева, ⁴В.И. Терехов, ⁵Б.Е. Утенова, ³В.Е. Махатова, ³А.С. Отебаева

¹ Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

² Южно-Казахстанский университет имени М.О. Ауезова, Шымкент, Казахстан,

³ Атырауский университет имени Х. Досмухамедова, Атырау, Казахстан,

⁴ Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия,

⁵ Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, Атырау, Казахстан,

e-mail: lyaklai.36972@mail.ru

В данной статье исследованы проблемы оптимизации процесса производства стабильного бензина на основе моделей объекта, который является целевым продуктом установки первичной переработки нефти и предложены подходы к их эффективного решения. В настоящее время решение задачи оптимизации основных процессов на установке первичной переработки нефти в нефтеперерабатывающей промышленности является одной из наиболее актуальных научных и производственных задач, так как обеспечивает эффективность дальнейшей глубокой переработки получаемых нефтепродуктов. В этой связи в данном исследовании сформулирована математическая постановка задачи оптимизации процесса производства стабильного бензина – целевого продукта установки первичной переработки нефти Атырауского НПЗ, характеризующиеся с нечеткостью и предложен эвристический подход для ее эффективного решения в нечеткой среде.

В результате проведенных исследований разработаны математические модели сложных объектов, характеризующимися неоднозначностью некоторых параметров, таких как колонна стабилизации установки первичной подготовки нефти, и на их основе разработан эвристический подход, эффективно оптимизирующий работу объекта в условиях нечеткости. Модели, определяющие объемы бензина и газа из стабилизационной колонны в зависимости от входных режимных параметров колонны, определены на основе экспериментально-статистических данных и системного применения подхода последовательного последовательного соединения регрессоров и метода наименьших квадратов. А нечеткие модели, оценивающие нечетко описываемых качественных показателей стабильного бензина синтезированы на основе методов экспертных оценок, нечетких множеств и модифицированных методов последовательного включения регрессоров, наименьших квадратов. На основе полученных моделей стабилизационной колонны разработан эвристический алгоритм эффективной оптимизации процесса производства стабильного бензина в условиях нечеткости, основанный на модификации и комбинации принципов оптимальности Парето-оптимальности и идеальной точки для работы в нечеткой среде.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, нечеткая информация, нечеткая модель, принятие решений в нечеткой среде, установка первичной переработки нефти, стабильный бензин.

Кіріспе. Бүгінгі таңда әлем, соның ішінде Қазақстан экономикасында мұнай өңдеу өндірісінде мұнайды бастапқы өңдеу процесстері мен оларды онттайландыру, тиімді басқару мәселелері аса маңызды да, өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Оның негізгі себептері ретінде:

– әр салаға өте қажетті сапалы мұнай өнімдерін алудың шикі мұнайды су, тұздан тазарту мен алғашқы өңдеу сапасының маңыздылығын;

– мұнайды бастапқы өңдеу процесінде ауыр мұнай өнімдері фракциялары есебінен, негізгі мақсаттық өнімі болып табылатын бензиннің жеңіл фракцияларын – тұрақты бензинді қажетті сапасын қамтамасыз ете отырып, барынша артты-

рудың аса қажеттігін атап өтуге болады [1-3].

Шикі мұнайды су, тұз және түрлі мехапникалық қоспалардын тазартатын және тазарған мұнайды бастапқы өңдеу процесстері барлық мұнай өңдеу зауыттарындв (МӨЗ) бар мұнайды бастапқы өңдеу қондырғыларында (МБӨ) өтеді. Бұл МБӨ қондырғылары басқа да технологиялық қондырғылар сияқты өз ара материалдық, энергиялық, ақпараттық ағындармен байланысты көптеген технологиялық агрегаттардан тұратын күрделі технологиялық жүйелерге жатады.

Мұндай технологиялық жүйелердің жұмыс сапасы әдетте экономикалық, экологиялық, технологиялық сипаттағы көптеген критериицлермен

бағалады [4,5]. Сонымен қатар МӨЗ-да қолданыстағы МБӨ қондырғыларында өндірілетін мұнай өнімдерінің түрлі фракциялары (ауыр, жеңіл, керосин, мазут) фракцияларының сапасы көрсеткіштері практикада адам, яғни мамандар қатысуымен, олардың білімі, тәжірибесі, яғни айқын емес ақпараттар негізінде лабораториялық жолмен бағалады [6 - 8]. Оған қасымша қолданыстағы стандарттар талпаптары бойынша бензин, басқа да мұнай өнімдерінің қайнау температуралы, құрамы сияқты сапа көрсеткіштері «көп емес», «аз емес», берілген міннен «артық» не «кем» сияқты айқын емес нұсқаулармен сипатталады [9, 10].

Жоғарыда сипатталған МБҚ қондырғысының практикадағы айқынсыздықпен сипатталуы және оның жұмыс сапасының көпкритерийлікпен бағалануы қондырғы математикалық модельдері мен оның жұмыс режимдерін оңтайландыруда дәстүрлі тәсілдердің тиімсіздіне, не олардың қолдану мүмкін еместігіне алып келеді. Сондықтан соңғы уақыттарда зертеу еңбектерінде айқынсыздықта технологиялық жүйелердің өз ара байланысқан модельдер пакеті мен айқынсыздықта көпкритерийлі оңтайландыру мәселелері аса өзекті ғылыми бағытқа айналды.

Мысалы [11–13] тағы басқа зерттеулер авторлары өз еңбектерінде технологиялық жүйелердің анқсыздық, қолжетімді ақпараттың айқын еместігі жағдайларында күрделі технологиялық жүйелерді моделдеу мен оңтайландыру мәселелерін зерттеген. Аталған және осы бағыттағы белгілі жұмыстарда айқынсыздық мәселелері бастапқы айқын емес есепті айқын емес жиындар теориясындағы α деңгейлі жиындар негізінде негізінде бірнеше айқын есептерге айналдырып, алынған айқын есептерді белгілі тәсілдермен шешіп, шешімдерді біріктіруге арқылы шешуға негізделген.

Бұл тәсілдемлерде бастапқы айқын емес есепті айқын есептерге айналдыру процесінде жиналған айқын емес ақпараттың, яғни эксперт-мамандар бәлімі, тәжірибесі интуициясын айтарлықтай бөлігі ескерілмегендіктен, алынған модель мен шешімнің адекваттығы айтарлықтай төмендейді.

Айқынсыздықта құрылған модельдер адекват-

тығы мен оңтайландыру нәтижелерінің тиімділігін арттыру үшін бұл тәсілдемелерде α жиындары деңгейлері санын арттыруды ұснуға болады. Алайда α жиындары деңгейлері санын арттыру, алвнатын айқын есептердің санының еселеп, күрт өсуіне алын келеді, яғни оларды шешу, соңғы нәтижені табу да аса күрделеніп, практикалық тұрғыдан өте тиімсіз болып табылады. Сол себептен бұл зерттеу жұмысында бастапқы айқын емес есепті айқын есептер жиынына айгалдырмай-ақ оны айқынсыздықта қойып, формализациялап және айқынсыздықта шешуге негізделген айқын емес есептеоді шешудің жаңа тиімді тәсілдемесі ұсынылады.

Бұл ғылыми мақалада зерттеу нысаны ретінде Атырау МӨЗ мұнайды алғашқы өңдеу қондырғысының негізгі, мақсаттық өнімі, сапасы айқынсыздықпен сипатталатын тұрақты бензин алынатын тұрақтандыру колоннасы алынған. Жұмыстың зерттеу пәні айқынсыздықта күрделі нысандардың модельдерін құру және ондай нысандардың жұмыс режимін көпкритерийлік пен айқын емес шектеулер жағдайларында оңтайландыру тәсілдері болып табылады.

Ұсынылған жұмыстың зерттеу мақсаты: МБӨ қондырғысының тұрақтандыру колоннасынан тұрақты бензин өндіру процесін айқынсыздықта модельдерін құрып, олардың негізінде тұрақтандыру колоннасының жұмыс режимдерін оңтайландыру эвристикалық тәсілін әзірлеу. Зерттеу нәтижесінде алынатын нәтижелердің көпкритерийлік пен айқынсыздық жағдайында өндірістік технологиялық нысандардың тиімді оңтайландыру бағытында үлкен теориялық және практикалық маңыздылықтарға ие.

Материалдар мен тәсілдер. Зерттеу материалдары ретінде МБӨ қондырғысы тұрақтандыру колоннасының жұмыс режимдері жайлы эксперименталдық-статистикалық деректері мен ол колоннадан өндірілетін тұрақталған жеңіл бензин фракцияларының сапасы жайлы лабораториялық, эксперттік ақпараттар ақпараттар қолданылады. Зерттеу нысанының, яғни МБӨ қондырғысы тұрақтандыру колоннасының модельдерін құру үшін осы мақала авторлары қатысуымен ұсынылған бастапқы ақпараттардың жетіс-

пеушілігі мен айқынсызлығы жағдайында қолжетімді түрлі сипаттағы ақпараттар негізінде нысанның модельдерін құру әдістемесі қолданылады [14, 15]. Сондай-ақ тұрақтандыру колоннасы модельдерін құруда жүйелік тәсілдеме [16] мен эксперименттік деректерді статистикалық өңдеу тәсілдері MathCad программалар пакеті негізінде пайдаланылды.

Зерттеу материалдары ретінде қолданылатын тұрақтандыру колоннасының өлшенетін кіріс, режимдік және шығыс параметрлері мәндері өлшеу аспаптары көмегімен алынған. Ал айқынсыздықпен сипатталатын тұрақты бензиннің сапа көрсеткіштері (бастапқы, соңғы қайнау температуралары) қолданыстағы стандарт талаптарындағы айқын емес нұсқаулар мен маман-эксперттер табиғи тілінде сипатталады.

Жұмыстың зерттеу мақсатына, яғни МБӨ қондырғысының тұрақтандыру колоннасынан тұрақты бензин өндіру процесін айқынсыздықта модельдерін құру және оның жұмыс режимдерін онтайландыру үшін зерттеу нысанының модельдер жүйесі мен айқын емес шектеулер жағдайында көпкритерийлік онтайландыру эвристикалық тәсілі әзірленетін болады.

Тұрақтандыру колоннасы шығысынан алынатын тұрақты бензин мен газ көлемдерін кіріс, режимдік параметрлеріне байланысты анықтайтын

модельдер тәжірибелік-статистикалық тәсілдер арқылы идентификацияланады [17–19]. Тұрақты бензиннің айқынсыздықта бағаланатын сапа көрсеткіштері туралды айқын емес ақпараттар эксперттік бағалау тәсілдері [20] арқылы жиналып, оларды формализациялау мен өңдеу айқын емес жиындар тәсілдері [6, 8, 21] негізінде жүзеге асырылған.

Нәтижелер мен талқылау. Жұмыста ертеу барысында келесі негізгі нәтижелер алынған: тұрақтандыру колоннасының тәжірибелік-статистикалық және айқын емес ақпараттар негізінде құрылған математикалық модельдері; айқынсыздықта түрлі онтайландыру принциптерін айқынсыққа түрлендіру арқылы әзірленген және құрылған модельдер негізінде зерттеу нысанының жұмыс режимдерін тиімді онтайландыруға мүмкіндік беретін эвристикалық тәсіл.

Зерттеу нысаны - тұрақтандыру колоннасының түрлі сипаттағы ақпараттар негізінде құрылған математикалық модельдері. Тұрақтандыру колоннасы төменгі бөлігіне алынатын тұрақты бензин (y_1) мен колоннаның жоғарғы бөлігіне алынатын газ (y_2) көлемдерін сипаттайтын модельдер құрылымы регрессорларды тізбектей қосу тәсілдемесі негізінде келесідей идентификацияланған:

$$y_j = a_{0j} + \sum_{i=1}^5 a_{ij}x_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{k=i}^5 a_{ij}a_{kj}x_i, j = 1, 2, \quad (1)$$

мұндағы $y_j, j = 1, 2$ – тұрақтандыру колоннасы шығысындағы тұрақты бензин (y_1) мен газ (y_2) көлемдері; $a_{0j}, a_{ij}, a_{kj}, j = 1, 2, i = 1, 5, k = i, a_{0j}$ – ары қарай анықталуы тиіс, белгісіз параметрлер (регрессиондық коэффициенттер), $x_i, i = 1, 5$ – колоннаның кіріс, режимдік параметрлері, атап айтқанда: x_1, x_2 – колоннасы жоғарғы мен төменгі бөліктері температуралары мәндері, x_3 – колонна кірісіндегі шикізат көлемі,

x_4, x_5 – шикізат температурасы мен тығыздығы.

Анықталған (1) модель құрылымын параметрлерін статистикалық деректер негізінде MATLAB жүйесінде ең кіші квадраттар тәсілі көмегімен идентификациялау нәтижесінде тұрақтандыру колоннасынан өндірілетін тұрақты бензин мен газ көлемдерін оның кіріс, режимдік параметрлеріне байланысты есептеуге мүмкіндік беретін келесі модельдер тұрғызылған:

$$y_1 = 111.8 - 0.05x_1 + 0.13x_2 - 0.05x_3 - 0.01x_4 - 43.08x_5 - 0.003x_1^2 + 0.001x_1x_2 + 0.022x_2x_4 \quad (2)$$

$$y_2 = 32,81 - 0.41x_1 - 0.30x_2 + 0.11x_3 - 0.8x_4 + 0.09x_5 - 0.001x_1^2 + 0.0001x_2^2 - 0.002x_2x_4 \quad (3)$$

Айқынсыздықта тұрақты бензин сапасын, яғни оның бастапқы мен соңғы қайнау температураларын бағалайтын айқын емес модельдер құрылымы авторлардың алдыңғы зерттеулерінде [14,15] ұсынылған қолжетімді статистикалық, айқын емес ақпараттар негізінде нысанның модельдерін құру әдістемесі негізінде келесідей анықталған:

$$\tilde{y}_j = \tilde{a}_{0j} + \sum_{i=1}^5 \tilde{a}_{ij}x_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{k=i}^5 \tilde{a}_{ij}\tilde{a}_{kj}x_j, j = 3, 4, \quad (4)$$

мұнда $\tilde{y}_j, j = 3, 4$ – айқынсыздықпен сипатталатын тұрақты бензиннің сапасы: бастапқы (\tilde{y}_3) мен соңғы (\tilde{y}_4) қайнау температуралары; $\tilde{a}_{0j}, \tilde{a}_{ij}, \tilde{a}_{kj}, j = 3, 4, i = 1, 5, k = i$ – ары қарай анықталуы тиіс, белгісіз айқын емес параметрлер (регрессиондық коэффициенттер), $x_i, i = \overline{1, 5}$ – жоғарыда сипатталған тұрақтандыру колоннасының кіріс, режимдік параметрлері.

Содан кейін аталған қолжетімді статистикалық, айқын емес ақпараттар негізінде нысанның модельдерін құру әдістемесі мен айқын емес жиындар тәсілдеріндегі α деңгейлі жиындар негізінде (4) айқын емес модельдері α деңгейлерінде келесі айқын модельдер жиынына түрлендірілген:

$$y_j^{\alpha_q} = a_{0j}^{\alpha_q} + \sum_{i=1}^5 a_{ij}^{\alpha_q}x_i + \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^5 a_{ij}^{\alpha_q}a_{kj}^{\alpha_q}, j = 3, 4, q = \overline{1, 3}, \quad (5)$$

мұнда $y_j^{\alpha_q}, j = 3, 4, q = \overline{1, 3}$ – тұрақты бензиннің α деңгейлеріндегі айқын сапа көрсеткіштері; $\alpha_q, q = \overline{1, 3} = \{0.5, 0.80, 1, 0.80, 0.5\}$ – α деңгейлері, біздің жағдайда тұрғызылған айқын емес термдердің тиістілік функциялары симметриялық гаусс типтік функциялар болғандықтан, оның сол, оң жақтарында 4 тиістілік пен α кескіндері қиылысатын 4 нүкте және тиістілік функцияны» максималды мәнінде 1, барлығы 5 нүкте алынған; $a_{0j}^{\alpha_q}, a_{ij}^{\alpha_q}, a_{kj}^{\alpha_q} - a_{ij}^{\alpha_q}$ – айқын емес параметрлердің тандалған α деңгейлеріндегі белгісіз айқын мәндері.

Алынған (5) α деңгейлеріндегі айқын модельдердің белгісіз параметрлері $a_{0j}^{\alpha_q}, a_{ij}^{\alpha_q}, a_{kj}^{\alpha_q}$ жоғарыда (1) модельдері параметрлерін анықтағандай статистикалық деректер мен MATLAB жүйесі негізінде идентификацияланып, олардың әр α деңгейіндегі мәндері идентификацияланған. Содан кейін α деңгейлерінде анықталған параметрлер жиыны компьютерде модельдеу үшін айқын емес жиындар теориясындағы келесі (6) формуласы бойынша бір мәнге біріктірілген:

$$\tilde{a}_{ij} = \cup_{\alpha \in [0.51]} a_{ij}^{\alpha_q} \text{ немесе}$$

$$\mu_{\tilde{a}_{ij}}(a_i) = \sup_{\alpha \in [0.51]} \min\{\alpha_q, \mu_{a_i^{\alpha_q}}(a_i)\}, a_{ij}^{\alpha_q} = \{\tilde{a}_{ij} | \mu_{\tilde{a}_{ij}}(a_{ij}) \geq \alpha\}. \quad (6)$$

Нәтижесінде тұрақты бензиннің айқынсызда сапа көрсеткіштерін есептеуге мүмкіндік беретін келесі модельдер алынған:

$$y_3 = 243.06 - 0.04x_1 - 0.057x_2 - 0.002x_3 + 0.001x_4 - 50.27x_5 - 0.001x_1^2 - 0.001x_2^2 - 0.0002x_1x_2 + 0.011x_2x_4 \quad (7)$$

$$y_4 = 15.87 + 0.05x_1 - 0.087x_2 + 0.0004x_3 + 0.032x_4 + 23.33x_5 + 0.0003x_1^2 - 0.002x_2^2 - 0.011x_1x_2 + 0.010x_1x_4. \quad (8)$$

Компьютерде модельдеу, оңтайландыру кезінде тұрақтандыру колоннасының сипатталған кіріс, режимдік параметрлерінің технологиялық регламент бойынша берілген төмендегі өзгертуге болатын максималды және минималды мәндерін ескеру қажет:

$$140 \leq x_1 \leq 160; 250 \leq x_2 \leq 260; 210 \leq x_3 \leq 330; 70 \leq x_4 \leq 90; 0.70 \leq x_5 \leq 1.00. \quad (9)$$

Сонымен тұрақтандыру колоннасы шығысындағы мұнай өнімдерінің көлемі мен МБӨ қондырғысы мақсаттық өнімі тұрақты бензиннің сапа көрсеткіштерінің модельдері (2),(3), (7),(8) және (9) талаптарын ескере отырып колоннаның кіріс, режимдік параметрлерін өзгерту арқылы, тұрақты колоннаның оңтайлы жұмыс режимін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл кезде оңтайландыру критерийлері ретінде әдетте тұрақты бензиннің максималды көлемі мен оның сапа көрсеткіштерінің қажетті мәндері алынады.

Өндірістік жағдайда көбінесе технологиялық қондырғылар жұмыс режимдерін басқаратын оператор-технолог (шешім қабылдаушы тұлға – ШҚТ) басқару бойынша оңтайландыру критерийлері мен түрлі жағдайларға, мысалы тапсырыс, өнімдерге деген сұраныстар, талаптар т.б. ескере отырып тиімді шешім қабылдайды.

Өндірістік жағдайда көбінесе ШҚТ-ға си-

патталған оңтайландыру процедурасына қарағанда, компьютерде автоматтандырылған режимде басқару нысанының оңтайландыру қажет болады. Яғни, компьютер нысанның жұмыс режимін оңтайландыру бойынша шешім қабылдау алгоритмдері негізінде кіріс, режимдік параметрлерді автоматты режимде өзгерте отырып, модельдер негізінде тиімді шешімді қабылдау бойынша ШҚТ-ға қолдау көрсететін жүйе қажет. Сондықтан бұл жұмыста жоғарыда құрылған тұрақтандыру колоннасы модельдері негізінде айқынсыздықта оның жұмыс режимдерін оңтайландыру бойынша айқынсызқта тиімді шешім қабылдау эвристикалық алгоритмі әзірленген.

Шешім қабылдау есебін Парето оптималдық және идеалды нүкте оңтайландыру принциптерін айқын емес ортаға түрлендіре отырып, жалпы түрде келесідей формализациялап, математикалық қойылымын келесідей жазамыз:

$$\max_{x \in X} \mu_C(x), \mu_C(x) = \sum_{i=1}^m \gamma_i \mu_C^i(x), \quad (10)$$

$$x = \{x : x \in \Omega \wedge \arg(\mu_r(x) \geq \min \|\mu_r(x) - \mu_r^I\|_D), r = \overline{1, L}\}, \quad (11)$$

мұнда m мен L – критерийлер мен шектелулер саны, біздің жағдайда $m = L = 2$, $\mu_C(x) - \mu_C^I(x), \mu_C^2(x)$ нормалданған локалды критерий-

лердің векторы; $\gamma_i, i = 1, 2$ – критерийлердің салмақ коэффициенттері; $x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ – жоғарыда сипатталған тұрақтандыру колоннасы-

ның кіріс, режимдік параметтері; X – қабылданатын шешімнің анықталу облысы; Ω – кіріс режимдік параметрлердің өзгертуге болатын мәндерінің рұқсат етілген мәндері жиыны, яғни альтернативалар анықталу облысы; $\mu_r(x)$, $r = 1, 2$ – айқын емес шектеулердің орындалу деңгейлерін бағалайтын тиістілік функциялары; $\mu_r^I(x)$, $r = 1, 2$ – айқын емес шектеулердің нормалданған идеалды мәндері; $\|\mu_r(x) - \mu_r^I\|_D$ – айқын емес шектеулер мен оның идеалды мәндері ара қашықтығын анықтайтын метрика түрі.

Тұжырымдалған (10)–(11) айқынсыздықта шешім қабылдау есебін айқын емес ортада шешу үшін Парето оптималдық (ПО) пен Идеалды нүкте (ИН) принциптерін айқынсыздыққа түрлендіру негізінде, ұсынылған айқынсыздықта шешім қабылдауды тәсілдемесінің (подхо) идеясын жүзеге асыратын келесі эвристикалық алгоритмі әзірленген.

Ұсынылған *ПО+ИН эвристикалық алгоритмі* келесі негізгі қадамдардан тұрады:

Қадам 1. ШҚТ, эксперттер көмегімен γ_i , $i = 1, 2$ – критерийлердің салмақ коэффициенттері ендіріледі;

Қадам 2. Айқын емес шектеулердің орындалу деңгейлерін анықтайтын термдер жиынын анықталып, оларды формализациялайтын тиістілік функциялары құрылады. Ол үшін арнаулы аналитикалық формуланы, не MatLab жүйесі Fuzzy Logic Toolbox қосымшасын [21] пайдалануға болады.

Қадам 3. ШҚТ, эксперттер қатысуымен идеалды нүкте, яғни айқын емес шектеулердің идеалды орындалуы мәндерінің координаттары $\mu_r^I = (\max \mu_1(x), \max \mu_2(x))$ анықталады. Егер шектеулердің тиістілік функциялары нормалды болса, онда $\mu_r^I = (1, 1)$ болады.

Қадам 4. ШҚТ идеалды нүкте, яғни шектеулер орындалуының идеалды мәндері мен шектеулердің орындалу деңгейлерінің ара қашықтығын минимизацияланатын метрика $\|\mu_r(x) - \mu_r^I\|_D$ түрі анықталады.

Қадам 5. Айқын емес шектеулердің орындалуын ескере отырып, критерийлерді оңталандыру, интегрленген критерийлер векторын $\mu_C(x) =$

$\sum_{i=1}^m \gamma_i \mu_C^i(x)$, X (10) анықталу облысында максимизациялау есебін шешу, яғни алынған бір критерийлік шартты оңтайландыру есебін ыңғайлы тәсіл негізінде оңтайландырып, айқын емес шектеулер $\mu_1(x(\gamma_i, \|\cdot\|_D))$, $\mu_2(x(\gamma_i, \|\cdot\|_D))$ талаптарын орындай отырып интегрленген критерийдің $\mu_C(x(\gamma_i, \|\cdot\|_D))$ ағымдағы мәнін қамтамасыз ететін тұрақтандыру колоннасының кіріс, режимдік параметрлерін $x(\gamma_i, \|\cdot\|_D)$ анықтау, мұнда $\|\cdot\|_D$ – таңдалған метрика түрі.

Бұл кезде оңтайландыру процесінде оңтайландыру критерийлерін бағалау және айқын емес шектеулердің тұрақты колоннаның кіріс, режимдік параметрлеріне байланысты мәндерін анықтау үшін жоғарыда құрылған (2), (3), (7), (8) модельдері мен (9) қолданылғады. (2) және (3) модельдері тұрақты колоннаның кіріс, режимдік параметрлері векторы $x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ мәндеріне байланысты $\mu_C^1(x)$, $\mu_C^2(x)$ критерийлері анықталады. Ал айқын емес шектеулердің орындалу деңгейлерін мәндерін аталған $x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ векторы мәндеріне байланысты бағалайтын $\mu_1(x)$, $\mu_2(x)$ тиістілік функциялары тұрақты бензиннің айқын емес сапа көрсеткіштерін сипаттайтын (7), (8) модельдері негізінде анықталады.

Қадам 6. Алдыңғы қадамға алынған ағымдағы шешімдер талдап, ең тиімдісін таңдау үшін ШҚТ-ға беріледі. Егер ағымдағы шешімдер ШҚТ-ны қанағаттандырмаса, ол критерийлердің салмақ коэффициенттерін γ_i , $i = 1, 2$, не/және метрика түрін өзгертіп, тиімді шешімді іздеудің келесі итерациясын алдыңғы 4-қадамнан бастап ең тиімді шешімді қабылдағанша қайталады. Алынған ағымдағы шешімдер ШҚТ-ны қанағаттандырған жағдайда, өндіріс жоспары, жағдайы мен өнімдер нарығындағы оған деген сұраныстар мен талаптарды, өзінің басымдықтарын ескере отырып, ең тиімдісін таңдайды, содан кейін таңдалған шешімдерді шығару үшін келесі 7-қадамға өту;

Қадам 7. ШҚТ таңдаған келесі ең тиімді шешімдер:

- ШҚТ таңдаған, соңғы ең тиімді шешімдер:
- айқын емес шектеулерді $\mu_1(x(\gamma_i, \|\cdot\|_D))$

$\|_D$), $\mu_2(x(\gamma_i, \|\cdot\|_D))$, талаптарын орындай отырып,

– интегрленген критерийдің $\mu_C(x(\gamma_i, \|\cdot\|_D))$ максималды мәнін қамтамасыз ететін

– тұрақтандыру колоннасының кіріс, режимдік параметрлері векторы $x(\gamma_i, \|\cdot\|_D)$ шығарылады.

Алынған негізгі нәтижелерді талқылау. Ұсынылып, сипатталған эвристикалық айқынсыздықта шешім қабылдау алгоритмі Парето оптималдық принципін критерийлерге, ал айқын емес шектеулерге идеалды нүкте оптималдық принциптерін айқынсыздыққа бейімдеуге негізделген. Айқын емес есептерді шешудің бұл эвристикалық тәсілдемесінің, бастапқы айқын емес есепті α деңгейлі жиындар арқылы айқын есептер жиынына айналдырып, дәстүрлі айқын тәсілдер арқылы шешуге негізделген белгілі тәсілдемесінен артықшылығы, эвристикалық тәсілдемеде бастапқы айқын емес есеп айқынсыздықта формализацияланып, шешіледі.

Идеясы қысқаша сипатталған айқын емес есептерді шешу тәсілдемесінде бастапқы айқын емес есепті айқын есептерге түрлендіру процесінде жинақталған айқын емес ақпараттардың, яғни ШҚТ, эксперттердің тәжірибесі, білімі және түйсігінің α деңгейлеріндегіден басқа, айтарлықтай бөлігі қолданылмай қалады. Ал бұл айқынсыздықта құрылған модельдің адекваттығы мен қабылданған шешімдердің тиімділіген төмендетеді. α деңгейлері сандарын арттыру арқылы модель адекваттығы мен шешім тиімдігін арттыру алынған айқын есептердің санын күрт арттыратындықтан практикалық тұрғыдан тиімсіз болады.

Ұсынылған эвристикалық тәсілдемеде айқынсыздық айқын емес жиындар теориясының математикалық аппараты арқылды формализациялану және есепті шешу барысында ШҚТ білім, тәжірибесі мен түйсігі болып табылатын айқын емес ақпараттарды максималды қолдану есебінен жоғары адекватты модель мен өте тиімді шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Зерттеу нысанын саралау нәтижесінде осы жұмыста таңдалған Парето оптималдық принципін критерийлерге, ал идеалды нүкте оптималдық принципін айқын емес шектеулерге қолдануға

қажетті ақпараттардың қолжетімдігі анықталды. Яғни әзірленіп, сипатталған ПО+ИН алгоритмі Парето оптималдық және идеалды нүкте оптимизациялау принциптерін қолдануға қажетті болатын ШҚТ көмегімен локалды критерийлердің салмақ коэффициенттері ($\gamma_1 = 0.8, \gamma_2 = 0.2$) және айқын емес шектеулердің орындалу деңгейінің мәні ($\mu_r^1 = 1, \mu_r^2 = 1$, тиістілік функция нормалды болғандықтан) белгілі. Таңдалған оптималдық принциптерін жүзеге асыруға қажетті шарттар мен ақпараттар болғандықтан қойылған айқын емес шешім қабылдау есебі айқын емес жиындар мен эксперттік бағалау тәсілдері негізінде тиімді шешіледі. Яғни ұсынылған эвристикалық тәсіл критерийлердің салмақ коэффициенттерін анықтау, олардың саны 5 ± 2 аспағанда және айқын емес шектеулердің орындалуының идеалды деңгейі белгілі немесе оның анықталуы мүмкін болғанда тиімді жүзеге асады.

Келтірілген эвристикалық тәсілдеменің идеясы негізінде таңдалған Парето оптималдық пен идеалды нүкте оптимизациялау принциптерін қолдануға қажетті ақпараттар қолжетімсіз, шарттар орындалмаған жағдайда басқа қолдануға болатын оптималдық принциптері мен олардың түрлі комбинацияларын қолдануға болады.

Ұсынылған айқын емес есепті айқын есептерге түрлендірмей-ақ, айқынсыздықта математикалық қойылымын тұжырымдап, оны айқынсыздықта түрлі оңтайландыру принциптерін модификациялау, комбинациялау негізінде айқынсыздықпен сипатталатын ШҚТ тәжірибесі, білімі мен шығармашылық мүмкіндіктерін қолдануға негізделген эвристикалық тәсілдеменің жаңашылдығы мен тиімділігін қарастырайық.

Жоғарыда ұсынылып, сипатталған айқынсыздықта тиімді шешім қабылдау тәсілдемесі жинақталған және қолжетімді айқынсыздықпен сипатталатын ШҚТ, эксперттер тәжірибесі, білімі мен түйсігін, олардың шығармашылық мүмкіндіктерін есепті айқынсыздықта шешу процесінде толықтай қолдануға мүмкіндік береді. Сәйкесінше айқынсыздықпен сипатталатын көптеген өндірістік нысандарды модельдеу, олардың жұмыс режимдерін оңтайландыру есетерін адекватты, тиімді шешімдерін алуға болады. Сонымен

катар ұсынылған эвристикалық тәсілдемеде өндірістегі туындаған түрлі жағдайларға, өндірістік жоспар мен талаптарға, өндірілетін өнімге деген нарықтағы сұраныс пен талаптарға және ШҚТ ба-сымқыларына байланысты түрлі параметрлерді өзгерте отырып, ШҚТ ең тиімді шешімді таңдай алады.

Егер критерийлерге талдалған Парето оптималдық пинципін, ал айқын емес шектеулерге идеалды нүкте принциптерін қолдануға қажетті ақпараттар мен шарттар болмаса, онда ұсынылған эвристикалық тәсілдеменің идеясына сәйкес басқа оптималдық принциптері мен комбинациясын айқынсыздыққа модификациялау арқылы қолдануға болады. Бұл кезде таңдалған оптималдық принциптерін айқынсыздыққа модификациялау айқын емес параметрлердің тиістілік функциясын құрып, формализациялау арқылы жүзеге асырылады.

Сонымен таңдалған оптималдық принциптерін қолдануға қажетті ақпараттар қол жетімсіз болса, ұсынылған айқынсыздықта тиімді шешімдер жиынында қайшылықта болатын көпкритерийлі оңтайландыру, яғни шешім қабылдау есебін шешудің эвристикалық тәсілдемесіне сәйкес, туындаған жағдайды қолдануға ыңғайлы басқа оптималдық принциптері мен олардың комбинацияларын айқынсыздыққа модификациялау қажет. Егер жоғарыда зерттеу нысанының жұмыс режимдерін оңтайландыру үшін ыңғайлы болып табылған Парето оптималдық пен идеалды нүкте оптималдық принциптері өндірістік жағдайдың өзгеруіне байланысты тиімсіз болса, онда бас критерий, максимин, теңдік не басқа критерийлерді таңдау керек. Бұл кезде басқа оптималдық принциптері оларды айқынсыздыққа модификациялап, қолдануға қажетті ақпараттар мен жағдайдың болуына байланысты таңдап алынады.

Мысалы айқынсыздықта бірнеше критерийлердің ішінен ең маңыздысын, яғни басты критерийді анықтау, ал шектеулердің маңыздылықтары жуықша бірдей болатын болса, онда басты критерий мен теңдік принциптері комбинациясын модификациялау арқылы оңтайландыру есебін тұжырымдап эвристикалық тәсілдеме көмегімен тиімді шешуі болады. Мұндай эв-

ристикалық шешім қабылдау тәсілі модификацияланған басты критерий (критерийлерге) мен теңдік принциптерінің (шектеулерге) қолдануға негізделетін болады. Ал бұл тәсілдеме де белгілі бір себептермен тиімсіз болса, айқынсыздықта шешім қабылдау есебін тиімді шешу үшін ұсынылған эвристикалық тәсілдеменің идеясы негізінде қажетті ақпараттар мен шарттар болатын басқа оптималдық принциптері мен олардың комбинациясын қолдануға болады.

Айтылғандарды тұжырымдай келе, түрлі өндірістік жағдайлар мен қолжетімді ақпараттар сипатына байланысты әр түрлі оптималдық принциптерін модификациялап, олардың түрлі комбинацияларын қолдануға болады. Яғни ұсынылған айқынсыздықта көпкритерийлі оңтайландыру есебі қойылымын түрлі оптималдық принциптерін модификациялау арқылы оны математикалық тұжырымдау және сипатталған эвристикалық жолмен тиімді шешу тәсілдемесі айтарлықтай әмбебап болып табылады. Айқынсыздықта шешім қабылдау есептерін шешудің эвристикалық тәсілдемесі шешім қабылдау теориясы мен тәсілдерін дамытуда және практикада көптеп кездесетін мұндай өндірістік есептерді тиімді шешу аясын кеңейтуге айтарлықтай үлес қосады.

Қорытынды. МБӨ қондырғысында тұрақты бензин өндіру процесін айқынсыздықта оның модельдері негізінде тиімді оңтайландыру эвристикалық тәсілдемесі әзірленіп, сипатталған. Ұсынылған айқынсыздыққа өндірісте туындаған жағдайлар мен қолжетімді ақпараттар сипатына байланысты түрлі оптималдық принциптері мен олардың комбинацияларын модификациялауға негізделген эвристикалық тәсілдеме идеясы түрлі жағдайға бейімделе алатын әмбебап тәсілдеме болып табылады.

Жұмыстың зерттеу мақсаты ретінде тұжырымдалған МБӨ қондырғысының тұрақтандыру колоннасынан тұрақты бензин өндіру процесін айқынсыздықта модельдерін құрылып, құрылған модельдер негізінде тұрақтандыру колоннаның жұмыс режимдерін оңтайландыру эвристикалық тәсілі әзірленді. Яғни зерттеу мақсатты толықтай қол жеткізіліп, орындалды.

Тұжырымдалған мақсаттың орындалуын қам-

тамасыз ететін, зерттеу міндеттері де толықтай шешілім келесі зерттеу нәтижелері алынған:

– зерттеу нысаны ретінде алынған МБӨ қондырғысының тұрақтандыру колоннасы мысалында оңтайландыру критерийлері болып табылатын кей параметрлері айқын емес ақпараттармен сипатталатын күрделі технологиялық нысандардың айқынсыздықта модельдерін түрлі қолжетімді ақпараттар негізінде құру тәсілдемесі ұсынылған. Бұл тәсілдеме негізінде өндірілетін МБӨ қондырғысының мақсаттық өнімі – тұрақты бензиннің көлемін қолжетімді эксперименталдық-статистикалық деректер, ал айқын емес сапа көрсеткіштерін ШҚТ, эксперт-мамандар тәжірибесі, білімі негізінде анықтайтын модельдер құрылды. Құрылған модельдердің құрамы регрессорларды тізбектей қосу тәсілдемесі, ал белгісіз параметрлері (регрессиялық коэффициенттері) модификацияланған ең кіші квадраттар тәсілі негізінде MatLab жүйесін пайдаланып идентификацияланған.

– Парето оптималдық максимин оптималдық принциптерін айқынсыздыққа модификациялау арқылы айқынсыздықта тұрақтандыру колоннасының жұмыс режимдерін векторлық оңтайландыру бойынша тиімді шешім қабылдау есебі формализацияланып, математикалық тұжырымдалған. Математикалық қойылымы алынған айқынсыздықта шешім қабылдау есебін айқын емес ортада тиімді шешу үшін таңдалған оптималдық принциптерінің модификациясына негізделген эвристикалық алгоритм ұсынылып, оның негізгі қадамдары сипатталған.

– Алынған негізгі нәтижелер талқылып, айқын-

сыздықта шешім қабылдаудың ұсынылған эвристикалық тәсілдемесінен белгілі, бастапқы айқын емес есептегі айқын есептер жиынына түрлендірігу арқылы шешуге негізделген тәсілдемесінен айырмашылығы мен артықшылықтар негізделген. Ұсынылған эвристикалық шешім қабылдау тәсілдемесінде де бастапқы айқын емес есеп айқын есептерге түрлендірілмей-ақ айқынсыздықта қойылып, айқынсыздықта шешіледі. Яғни мұндай эвристикалық тәсілдеме ақпарат тапшылығы мен айқынсыздығы жағдайында өте маңызды, мағыналы болып табылатын тәжірибелі ШҚТ, эксперт-мамандар білімі, тәжірибесі мен интуициясы түріндегі айқын емес ақпараттарды толықтай қолдану есебінен құрылған модельдердің жоғары адекваттығы мен қабылданған шешімдердің жоғары тиімділігін қамтамасыз ете алады.

Авторлардың алдағы зерттеулерінде осы жұмыста алынған нәтижелер негізінде зерттеу нысанын айқынсыздықта компьютерлік модельдеу және оның жұмыс режимдерін айқын емес ортада оңтайландыру бойынша ШҚТ-ға тиімді шешімді оперативті қабылдауға қолдау көрсететін интеллектуалдандырылған шешім қабылдауды қолдау жүйесін [22] әзірлеу жоспарланған.

Қаржыландыру. Зерттеу Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университетінің қаржыландырған (грант «Мұнай өңдеу өндірісі технологиялық кешендерінің жұмыс режимдерін оптимизациялау шешім қабылдауды қолдау интеллектуальды жүйелері – Интеллектуальные системы принятия решений для оптимизации режимов работы технологических комплексов нефтеперерабатывающего производства»).

Литература

1. Сериков Т.П. Современные технологии и процессы переработки нефти и газа. - Алматы: Гылым, 2018. 357 с.
2. Beltramini J.N., Lu G.Q. Processing of Primary and Secondary Fuels: Perspective on Petroleum Refining // Energy Storage Systems. 2020. Vol. 2(1). –P.1–28. <http://www.eolss.net/Eolss-sampleAllChapter.aspx>
3. Ахметов С.А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа. - СПб.: Недра, 2006. - 871 с. ISBN 5-94089-074-1
4. Кафаров, В. В. Системный анализ процессов химической технологии : основы стратегии: монография / В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов.- Москва : Изд-во Юрайт, 2018. - 499 с. ISBN 978-5-534-06991-4.

-
5. Chen Y., He L., Li J., Zhang S. Multi-criteria design of shale-gas-water supply chains and production systems towards optimal life cycle economics and greenhouse gas emissions under uncertainty // *Computers & chemical engineering*. 2018. -Vol. 109. -P. 216–235. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.11.014>
 6. Zimmermann H.-J. *Fuzzy Set Theory – and Its Applications*. Springer Science+Business Media //LLC. Fifth Edition. -2018. -525 p. ISBN: 978-94-010-3870-6
 7. Orazbayev B.B., Orazbayeva K.N., Utenova B.E. Development of Mathematical Models and Modeling of Chemical Engineering Systems under Uncertainty // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2014. –Vol. 48. № 4. – P. 138–147. DOI:10.1134/S0040579514020092
 8. Orazbayev B., Ospanov Ye., Makhatova V., Salybek L., Abdugulova Z, Suleimenova S., Orazbayeva K. Methods of Fuzzy Multi-Criteria Decision Making for Controlling the Operating Modes of the Stabilization Column of the Primary Oil-Refining Unit // *Mathematics*. 2023. Vol. 11, 2820. –P. 1–20. <https://doi.org/10.3390/math11132820>
 9. Сулейменов Е.Б., Тулеуов Ж.Н. Технологический регламент установки первичной переработки нефти ЭЛОУ-АТ-2. -Атырау, изд. АУНГ, 2019. -112 с.
 10. ГОСТ 2177 (ИСО 3405-88) – Нефтепродукты. Способы определения качества и фракционного состава. –Минск, 2002. -23 с.
 11. Бойко, И.А. Математические модели технологических систем в условиях неопределенности // *Молодой ученый*. 2019. № 6(53). -С. 30-33. URL: <https://moluch.ru/archive/53/7208/> (дата обращения: 24.06.2024).
 12. Зайченко Ю.П. *Исследование операций: нечеткая оптимизация*. –Киев: Изд-во Выща школа, 1991. -193 с. ISBN: 5-11-002276-3
 13. Волин Ю.М., Островский Г.М. Многокритериальная оптимизация технологических процессов в условиях неопределенности // *Автоматика и телемеханика*. – 2007. – Т. 53. – № 3. – С. 165–178.
 14. Оразбаев Б.Б., Асанова Б.У., Молдашева Ж.Ж., Шуйтенов Г.Ж., Дюсембина Э.М. Түрлі сипаттағы қол жетімді ақпараттар негізінде баяу кокстеу қондырғысының өзара байланысқан технологиялық агрегаттары модельдерін құру әдістемесі // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Physico-Mathematical series*. 2023. Vol. 3. № 347. -С.28–43 <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1726.202>
 15. Салыбек Л.Т., Оразбаева К.Н., Махатова В.Е., Курмангазиева Л.Т., Утенова Б.Е. Мұнайды алғашқы өңдеу қондырғысы атмосфералық блогының модельдерін түрлі сипаттағы қолжетімді ақпарат негізінде құру // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Physico-Mathematical series*. -2023. - Vol. 2. -№ 350. -С.285–296. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1726.283>
 16. Huang H.Z., He L. New Approaches to System Analysis and Design: A Review. In: Misra, K.B. (eds) *Handbook of Performability Engineering*. -Springer, London. 2019. -P. 477–498. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-131-2_31
 17. Карманов Ф.И. Острейковский В.А. *Статистические методы обработки экспериментальных данных с использованием пакета MathCad*, -М.: Радио и связь, 2019. -187 с. ISBN: 978-5-905554-96-4.
 18. Douglas A.M. and Danny A.M. *Statistical Methods in Experimental Pathology: A Review and Primer*. *The American Journal of Pathology*. -2021. -Vol. 191(5). –P. 784–794. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2021.02.009>.
 19. Zhao Zh.W., Wang D.H. Statistical inference for generalized random coefficient autoregressive model // *Mathematical and Computer Modelling*. – 2018. - Vol.56(3). -P.152-166.
-

20. Jorgensen M. A Review of Studies on Expert Estimation of Software Development Effort. *Journal of Systems and Software*. -2019. -Vol.70. -P.37-60. DOI:10.1016/S0164-1212(02)00156-5
21. Рыжов А.П. Теория нечетких множеств и ее приложения. -Москва: МГУ. 2-е издание. 2021. -285 с. ISBN: 978-3-540-70777-6.
21. Fuzzy Logic Toolbox. Available online: <http://www.matlab.ru> (доступ 25 августа 2024 г.).
22. Hamilton S.H., Jakeman A.J., Norton J.P. Artificial Intelligence techniques: An introduction to their use for modelling environmental systems // *Mathematics and Computers in Simulation*.-2018. -Vol. 78(2). -P. 379–400. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2008.01.028>

References

1. Serikov T.P. *Sovremennye tehnologii i processy pererabotki nefti i gaza*. - Almaty: Gylym, 2018. 357 s. [in Russian]
2. Beltramini J.N., Lu G.Q. *Processing of Primary and Secondary Fuels: Perspective on Petroleum Refining // Energy Storage Systems*. 2020. Vol. 2(1). P.1-28. <http://www.eolss.net/Eolss-sampleAllChapter.aspx>
3. Ahmetov S.A. *Tehnologija i oborudovanie processov pererabotki nefti i gaza*. - SPb.: Nedra, 2006. - 871 s. ISBN 5-94089-074-1 [in Russian]
4. Kafarov, V. V. *Sistemnyj analiz processov himicheskoj tehnologii : osnovy strategii: monografiya / V. V. Kafarov, I. N. Dorohov*.- Moskva : Izd-vo Jurajt, 2018. - 499 s. ISBN 978-5-534-06991-4. [in Russian]
5. Chen Y., He L., Li J., Zhang S. Multi-criteria design of shale-gas-water supply chains and production systems towards optimal life cycle economics and greenhouse gas emissions under uncertainty // *Computers & chemical engineering*. 2018. -Vol. 109. -P. 216–235. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.11.014>
6. Zimmermann H.-J. *Fuzzy Set Theory – and Its Applications*. Springer Science+Business Media //LLC. Fifth Edition. -2018. -525 p. ISBN: 978-94-010-3870-6
7. Orazbayev B.B., Orazbayeva K.N., Utenova B.E. *Development of Mathematical Models and Modeling of Chemical Engineering Systems under Uncertainty // Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2014. –Vol. 48. № 4. – P. 138–147. DOI:10.1134/S0040579514020092
8. Orazbayev B., Ospanov Ye., Makhatova V., Salybek L., Abdugulova Z, Suleimenova S., Orazbayeva K. *Methods of Fuzzy Multi-Criteria Decision Making for Controlling the Operating Modes of the Stabilization Column of the Primary Oil-Refining Unit // Mathematics*. 2023. Vol. 11, 2820. DOI: 10.3390/math11132820
9. Sulejmenov E.B., Tuleuov Zh.N. *Tehnologicheskij reglament ustanovki pervichnoj pererabotki nefti JeLOU-AT-2*. -Atyrau, izd. AUNG, 2019. -112 s. [in Russian]
10. GOST 2177 (ISO 3405-88) *Nefteprodukty. Sposoby opredelenija kachestva i frakcionnogo sostava*. –Minsk, 2002. -23 s. [in Russian]
11. Bojko, I.A. *Matematicheskie modeli tehnologicheskikh sistem v usloviyah neopredelennosti // Molodoj uchenyj*. 2019. № 6(53). -S. 30-33. URL: <https://moluch.ru/archive/53/7208/> (data obrashhenija: 24.06.2024). [in Russian]
12. Zajchenko Ju.P. *Issledovanie operacij: nechetkaja optimizacija*. –Kiev: Izd-vo Vyshha shkola, 1991. -193 s. ISBN: 5-11-002276-3 [in Russian]
13. Volin Ju.M., Ostrovskij G.M. *Mnogokriterial'naja optimizacija tehnologicheskikh processov v usloviyah neopredelennosti // Avtomatika i telemekhanika*. – 2007. – T. 53. – № 3. – S. 165–178. [in Russian]
14. Orazbaev B.B., Asanova B.U., Moldasheva Zh.Zh., Shujtenov G.Zh., Djusembina Je.M. *Túrli sipattaǵy*

qol zhetimdi aqparattar negizinde bajau koksteu qondyrǵysynyń ózara bajlanysqan tehnologi jalyq agregattary model'derin quǵı ádistemesi // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Physico-Mathematical series. 2023. Vol. 3. № 347. -S.28-43 <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1726.202> [in Kazakh]

15. Salybek L.T., Orazbaeva K.N., Mahatova V. E., Kurmangazieva L.T., Utenova B.E. Munajdy algashqy óńdeu qondyrǵysy atmosferalyq blogynyń model'derin túrli sipattaǵy qolzhetimdi aqparat negizinde quǵı // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Physico-Mathematical series. -2023. - Vol. 2. -№ 350. -S.285-296. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1726.283> [in Kazakh]

16. Huang H.Z., He L. New Approaches to System Analysis and Design: A Review. In: Misra, K.B. (eds) Handbook of Performability Engineering. -Springer, London. 2019. -P. 477–498. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-131-2_31

17. Karmanov F.I. Ostrejkovskij V.A. Statisticheskie metody obrabotki jeksperimental'nyh dannyh s ispol'zovaniem paketa MathCad, -M.: Radio i svjaz', 2019. -187 s. ISBN: 978-5-905554-96-4. [in Russian]

18. Douglas A.M. and Danny A.M. Statistical Methods in Experimental Pathology: A Review and Primer. The American Journal of Pathology. -2021. -Vol. 191(5). -P. 784–794. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2021.02.009>.

19. Zhao Zh.W., Wang D.H. Statistical inference for generalized random coefficient autoregressive model // Mathematical and Computer Modelling. – 2018. - Vol.56(3). -R.152-166.

20. Jorgensen M. A Review of Studies on Expert Estimation of Software Development Effort. Journal of Systems and Software. -2019. -Vol.70. -R.37-60. DOI:10.1016/S0164-1212(02)00156-5

21. Ryzhov A.P. Teoriya nechetkih mnozhestv i ee prilozheniya. -Moskva: MGU. 2-e izdanie. 2021. -285 s. ISBN: 978-3-540-70777-6. [in Russian]

21. Fuzzy Logic Toolbox. Available online: <http://www.matlab.ru> (dostup 25 avgusta 2024 g.).

22. Hamilton S.H., Jakeman A.J., Norton J.P. Artificial Intelligence techniques: An introduction to their use for modelling environmental systems // Mathematics and Computers in Simulation.-2018. -Vol. 78(2). -P. 379–400. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2008.01.028>

Авторлар жайында мәліметтер:

Оразбаев Б.Б. – техника ғылымдарының докторы, Қазақстан Республикасы Инженерлік академиясының академигі, Жүйелік талдау және басқару кафедрасының профессоры, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан, e-mail: batyr_o@mail.ru;

Салыбек Л.Т. – М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті докторанты, Қазақстан, e-mail: lyaklai.36972@mail.ru;

Курмангазиева Л.Т. – Х.Досмухамедов атындағы Атырау университеті, техника ғылымдарының кандидаты, Программалық инженерия кафедрасының профессоры, Атырау қ., Қазақстан, e-mail: kuzhuhanova-zhad@mail.ru;

Терехов В.И. – Бауман атындағы Мәскеу мемлекеттік техникалық университеті, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Мәскей қ., Ресей Федерациясы, e-mail: terekchow@bmstu.ru;

Утегова Б.П. – С. Утебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, техника ғылымдарының кандидаты, Ақпараттық технологиялар факультетінің қауымдасқан профессоры, Атырау қ., Қазақстан, e-mail: balbure_u_e@mail.ru;

Махатова В.Е. – Х.Досмухамедов атындағы Атырау университеті, техника ғылымдарының кандидаты, Программалық инженерия кафедрасының профессоры, Атырау қ., Қазақстан, e-mail: mahve@mail.ru;

Өтебаева А.С. – Х.Досмухамедов атындағы Атырау университеті, магистр, Программалық инженерия кафедрасының ағы оқытушысы, Атырау қ., Қазақстан, e-mail: aotebayevas@mail.ru

Information about the authors

Orazbayev B.B. – doctor of technical sciences, academician of the Engineering academy of the republic of Kazakhstan, professor of the department of System analysis and Control, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: batyr_o@mail.ru;

Salybek L.T. – doctoral student, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: lyaklai.36972@mail.ru;

Курмангазиева Л.Т. – Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Software Engineering, Atyrau. Kazakhstan, e-mail: kuzhuhanova-zhad@mail.ru;

Terekhov V.I. – Bauman Moscow State Technical University, candidate of technical sciences, associate professor, Moscow, Russian Federation, e-mail: terekchow@bmstu.ru;

Утенова Б.П. – Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева, кандидат технических наук, доцент факультета информационных технологий, Атырау, Казахстан, e-mail: balbupe_u_e@mail.ru;

Makhatova V.E – Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Software Engineering, Atyrau. Kazakhstan, e-mail: mahve@mail.ru;

Otebayeva A.A.– Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Master, Senior Lecturer, Department of Software Engineering, Atyrau. Kazakhstan, e-mail: aotebayevas@mail.ru

СИНТЕЗ И МОДИФИКАЦИЯ АЗИДА НИКОТИНОВОЙ КИСЛОТЫ

^{1,2}О.А.Нуркенов, ^{1,2}А.Ж.Мендибаева, ³Т.М.Сейлханов, Ж.С.Нурмаганбетов^{1,4},
²С.К.Кабиева, ^{1,2}А.К.Сыздыков, ¹С.Д.Фазылов✉

¹Институт органического синтеза и углехимии, Караганда, Казахстан,

²Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан,

³Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан,

⁴Медицинский университет Караганды, Караганда, Казахстан

✉Корреспондент-автор: iosu8990@mail.ru

Производные никотиновой кислоты обладают широким спектром биологической активности и находят различное применение в медицинской практике в качестве препаратов первой линии для лечения туберкулеза [1], легочной артериальной гипертензии [2], эпилепсии, зависящей от витамина В6 [3], ингибиторов фактора свертывания крови IXa [4,5], ингибиторов вируса иммунодефицита человека [6,7] и др. Следует отметить, что пиридиновый цикл входит в состав многих жизненно важных органических соединений, что определяет одну из его доминирующих ролей среди гетероциклов. Поэтому разработка удобных методов синтеза новых производных никотиновой кислоты является актуальной проблемой, поскольку эти соединения представляют интерес как в практическом, так и в теоретическом плане. Целью данной работы является целенаправленный синтез азида никотиновой кислоты и осуществление его дальнейшей модификации с целью получения новых фармакологически активных соединений.

В настоящей работе осуществлен синтез азида никотиновой кислоты взаимодействием нитрита натрия с гидразидом никотиновой кислоты с выходом 99%. Изучено взаимодействие азида никотиновой кислоты со спиртами (изопропиловый и бутиловый спирты) и вторичным амином (алкалоидом цитизином). Показано, что при нагревании в среде сухого бензола азид никотиновой кислоты претерпевает перегруппировку Курциуса, с образованием изоцианата, который далее реагирует *in situ* со спиртами и амином (алкалоидом цитизином) с образованием соответствующих уретанов и мочевины. С целью синтеза производных 1,2,3-триазола осуществлено взаимодействие азида никотиновой кислоты с терминальным ацетиленом - проп-2-иниловым эфиром 3-трет-бутил-5-этил-2-гидроксibenзойной кислоты в среде ДМФА и нагревании (70-80°C) в присутствии медного купороса $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ и аскорбата натрия (NaAsc). Установлено, что в результате реакции образуется не ожидаемое 1,2,3-триазольное соединение, а 3-аминопиридин и исходное ацетиленовое соединение. Показано, что при нагревании получаемый азид разлагается с образованием промежуточной частицы - нитрена, и последующая миграция пиридинильного радикала к атому азота (перегруппировка Курциуса) приводит к изоцианату. В результате гидратации изоцианата и последующего декарбоксилирования из образовавшейся карбаминовой кислоты получается 3-аминопиридин. Строение синтезированных соединений подтверждено на основании анализа данных ЯМР ^1H - и ^{13}C -спектроскопии, а также двумерных спектров COSY (^1H - ^1H) и HMQC (^1H - ^{13}C).

Ключевые слова: азид никотиновой кислоты, гидразид, перегруппировка Курциуса, изоцианат, уретан, мочевина, ЯМР ^1H и ^{13}C спектроскопия.

НИКОТИН ҚЫШҚЫЛЫ АЗИДІНІҢ СИНТЕЗІ ЖӘНЕ МОДИФИКАЦИЯСЫ

^{1,2}О.А.Нуркенов, ^{1,2}Ә.Ж.Мендібаева, ³Т.М.Сейілханов,

^{1,4}Ж.С.Нұрмағанбетов, ²С.Қ.Қабиева, ^{1,2}А.Қ.Сыздықов, ¹С.Д.Фазылов✉

¹Қазақстан Республикасының Органикалық синтез және көмір химиясы институты, Қарағанды, Қазақстан,

² Қарағанды индустриалды университеті, Теміртау, Қазақстан,

³ Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау университеті, Көкшетау, Қазақстан,

⁴Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан,

e-mail: iosu8990@mail.ru

Никотин қышқылының туындылары биологиялық белсенділіктің кең спектріне ие және медициналық тәжірибеде туберкулезді емдеуде бірінші қатардағы препараттар ретінде [1], өкпе артериялық гипертензиясын [2], В₆ витаминіне тәуелді эпилепсияны [3], қан ұю факторының IXa ингибиторын [4,5], адамның иммун тапшылығы вирусының ингибиторын емдеуге арналған препараттар ретінде әртүрлі қолдануды табады [6,7]. Пиридин циклі көптеген өмірлік маңызды органикалық қосылыстардың құрамына кіретінін атап өткен жөн, бұл оның гетероциклдер арасындағы басым рөлдердің бірін анықтайды. Сондықтан никотин қышқылының жаңа туындыларын синтездеудің ыңғайлы дайындық әдістерін жасау өзекті мәселе болып табылады, өйткені бұл қосылыстар практикалық және теориялық қызығушылық тудырады. Бұл жұмыстың мақсаты - никотин қышқылы азидінің мақсатты синтезі және жаңа фармакологиялық белсенді қосылыстар алу үшін оны одан әрі түрлендіру.

Бұл жұмыста никотин қышқылы азидінің синтезі 99% шығыммен натрий нитритінің никотин гидразидімен өзара әрекеттесуі арқылы жүзеге асырылды. Никотин қышқылы азидінің спирттермен (изопропил және бутил спирттері) және екіншілік аминмен (цитизин алкалоидымен) өзара әрекеттесуі зерттелді. Құрғақ бензол ортасында қыздырылған кезде никотин қышқылының азиді Курцийдің қайта түрленуінен өтіп, реакцияға қабілетті өнім изоцианат түзеді, ол *in situ* жағдайында спирттермен және алкалоид цитизинмен әрекеттесіп, жаңа уретандар мен мочеина түзеді. 1,2,3-триазол туындыларын синтездеу мақсатында никотин қышқылы азидінің ДМФА ортасында 3-трет-бутил-5-этил-2-гидроксибензой қышқылының терминалдық ацетилен-проп-2-инил эфирімен және CuSO₄ × 5H₂O мыс сульфаты мен натрий аскорбатының (NaAsc) қатысуында қыздырумен (70-80°C) өзара әрекеттесуі жүзеге асырылды. Реакция нәтижесінде, күтілетін 1,2,3-триазол қосылысы емес, 3-аминопиридин және бастапқы ацетилен қосылысы түзілетіні анықталды. Қыздырылған кезде бастапқы түзілген азидыдырап, аралық бөлшек - нитрен түзетіні көрсетілді, пиридил радикалының азот атомына кейінгі миграциясы (Курцийдің қайта құрылуы) изоцианатқа әкеледі. Изоцианаттың ылғалдануы және нәтижесінде пайда болған карбамин қышқылының декарбоксилденуі нәтижесінде 3-аминопиридин алынады. Синтезделген қосылыстардың құрылымы ЯМР ¹H - және ¹³C-спектроскопия әдістерімен, сондай-ақ COSY (¹H-¹H) және HMQC (¹H-¹³C) екі өлшемді спектрлерінің деректерімен расталды.

Түйін сөздер: никотин қышқылының азиді, гидразид, Курциустің қайта топтастыруы, изоцианат, уретан, мочеина, ЯМР ¹H және ¹³C спектроскопия.

SYNTHESIS AND MODIFICATION OF NICOTINIC ACID AZIDE

^{1,2}O.A.Nurkenov, ^{1,2}A.Zh.Mendibayeva, ³T.M.Seilkhanov,

^{1,4}Zh.S.Nurmaganbetov, ²S.K.Kabieva, ^{1,2}A.K.Syzdykov, ¹S.D.Fazylov✉

¹Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry, Karaganda, Kazakhstan,

²Karaganda Industrial University, Kazakhstan, Temirtau, Kazakhstan,

³Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Kazakhstan,

Nicotinic acid derivatives have a wide range of biological activity and are widely used in medical practice as first-line drugs for the treatment of tuberculosis [1], pulmonary arterial hypertension [2], vitamin B₆-dependent epilepsy [3], inhibitors of blood clotting factor IXa [4, 5], human immunodeficiency virus inhibitor [6,7], etc. It should be noted that the pyridine cycle is part of many vital organic compounds, which determines its one of the dominant roles among heterocycles. Therefore, the development of convenient preparative methods for the synthesis of new nicotinic acid derivatives is an urgent task, since these compounds are of practical and theoretical interest. The purpose of this work is the targeted synthesis of nicotinic acid azide and its further modification in order to obtain new pharmacologically active compounds.

In this work, the synthesis of nicotinic acid azide was carried out by the interaction of sodium nitrite with nicotinic hydrazide with a yield of 99%. The interaction of nicotinic acid azide with alcohols (isopropyl and butyl alcohols) and a secondary amine (cytisine alkaloid) has been studied. It has been shown that when heated in a dry benzene medium, nicotinic acid azide undergoes a Curtius rearrangement to form isocyanate, which reacts *in situ* with alcohols and the alkaloid cytisine to form the corresponding urethanes and urea. In order to synthesize 1,2,3-triazole derivatives, the interaction of nicotinic acid azide with terminal acetylene - prop-2-ynyl ether of 3-tert-butyl-5-ethyl-2-hydroxybenzoic acid was carried out in a DMFA and heated (70-80 °C) in the presence of copper sulfate CuSO₄×5H₂O and sodium ascorbate (NaAsc). It was found that as a result of the reaction, not the expected 1,2,3-triazole compound is formed, but 3-aminopyridine and the initial acetylene compound. It is shown that when heated, the azide decomposes to form an intermediate particle, nitrene, and the subsequent migration of the pyridyl radical to the nitrogen atom (Curtius rearrangement) leads to isocyanate. As a result of hydration of isocyanate and subsequent decarboxylation of the resulting carbamic acid, 3-aminopyridine is obtained. *Conclusion.* The synthesis of nicotinoylazide was carried out by the interaction of sodium nitrite with nicotinic acid hydrazide. The interaction of nicotinic acid azide with terminal acetylen - prop-2-vinyl ester of 3-tert-butyl-5-ethyl-2-hydroxybenzoic acid did not lead to the formation of the expected 1,2,3-triazole compound. It was found that the initial azide undergoes Curtius rearrangement upon heating *in situ* with the formation of corresponding urethanes and urea. The structure of the synthesized compounds was confirmed by NMR ¹H and ¹³C spectroscopy, as well as data from the two-dimensional spectra COZY (¹H-¹H) and HMQC (¹H-¹³C).

Keywords: nicotinic acid azide, hydrazide, Curtius rearrangement, isocyanate, urethane, urea, ¹H and ¹³C NMR spectroscopy.

Введение. Органические азиды являются универсальными строительными блоками для различных областей химии и являются весьма реакционно-способными соединениями и часто используются в качестве интермедиатов в тонком органическом синтезе. Они находят широкое применение в биохимии в качестве защитных групп [8], как универсальные линкеры [9,10], также перспективным является использование лекарственных препаратов, в структуре которых есть азидная группа, для лечения вирусов иммунодефицита человека и герпеса [11]. В последнее

время возрастает интерес к органическим азидам как к перспективным реагентам для динамично развивающейся «*click chemistry*», в частности, после открытия медь-катализируемой реакции циклоприсоединения азидов и терминальных алкинов с образованием триазолов [12]. К сожалению, в литературе мало подробных данных о синтезе и модификации азидов пиридинкарбоновых кислот. Тем не менее, попытки представить информацию о методах синтеза новых производных азидов пиридинкарбоновых кислот активно продолжаются.

Материалы и методы. Экспериментальная часть. Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C снимали на спектрометре JNM-ECA 400 (399.78 и 100.53 МГц соответственно) с использованием растворителя $\text{DMSO-}d_6$. Контроль за ходом реакции и чистотой полученных соединений осуществляли методом тонкослойной хроматографии на пластинках Silufol UV-254 в системах изопропиловый спирт-бензол-аммиак (10:5:2) (проявление парами йода).

Методики синтеза азиды никотиновой кислоты и его производных.

Азид никотиновой кислоты (2). К раствору 2,23 г (0,016 М) гидразида никотиновой кислоты в 3,5 мл концентрированной азотной кислоты (95%) и 2 мл воды прибавляют при $0\pm 2^\circ\text{C}$ по каплям раствор 2,7 г (0,039 М) нитрита натрия в 5 мл воды. Осадок белый порошок отфильтровывают, фильтрат подщелачивают 20%-ным раствором Na_2CO_3 и отфильтровывают еще дополнительное количество азиды. Общий выход 3,2 г (99 % от теорет.), т.пл. $47\text{--}48^\circ\text{C}$. Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., (J , Гц): 7.38-7.42 м (1H, H^1), 8.25-8.28 м (1H, H^4), 8.80-8.81 (1H, H^2), 8.19 с (1H, H^6). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ_{C} , м.д.: 123.45 (C^3), 126.48 (C^5), 136.63 (C^4), 150.58 (C^6), 154.53 (C^2), 171.17 (C^7).

3-Аминопиридин (5). Смесь никотиноилазида (2) (1 г, 6.751 ммоль), замещенного ацетилена (5) (1.75 г, 6.751 ммоль), $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0.084 г, 0.337 ммоль) и аскорбата натрия (0.066 г, 0.337 ммоль) в ДМФА (8 мл) перемешивают при 75°C в течение 8-10 ч (контроль ТСХ). Выпавший при охлаждении осадок отфильтровывают, промывают гексаном, сушат, получают 3-аминопиридин (5). Для выделения 3-аминопиридина (5) растворитель отгоняют в вакууме, остаток хроматографируют на колонке с силикагелем (элюент - хлороформ, смесь хлороформа с этанолом, 100:1 \rightarrow 10:1). После колоночной хроматографии выделяют 0,74 г (42%) 3-аминопиридин (5) с т. пл. $175\text{--}180^\circ\text{C}$ и непрореагировавшее исходное ацетиленовое соединение (3). Спектр ЯМР ^1H ($\text{CDCl}_3 + \text{CD}_3\text{OD}$), δ , м.д., (J , Гц): 6.30 с (2H, $\text{H}^{7,7}$), 7.44-7.46 м (1H, H^3), 7.70-7.72 м (1H, H^4), 8.44-8.46 (1H, H^2), 8.71 с (1H, H^6). Спектр ЯМР ^{13}C

(CDCl_3), δ_{C} , м.д.: 122.00 (C^4), 124.80 (C^3), 137.85 (C^6), 139.00 (C^2), 146.20 (C^5).

Изопропил-пиридин-3-ил карбомам (6). К 0,5 г (0,0033 М) никотиноилазиду (2) в 10 мл бензоле добавляют при перемешивании 0,26 г (0,0043 М) изопропилового спирта. Реакционную смесь кипятят в течение 1 часа, а затем охлаждают до комнатной температуры. Сырой продукт отфильтровывают, сушат и перекристаллизовывают этилацетатом. Выход продукта составляют 0,3 г (44,11 %), светло-желтый порошок, т.пл. $138\text{--}140^\circ\text{C}$. ИК спектр (KBr), ν , cm^{-1} : 3415 (NH), 1685 ($\text{CO}_{\text{амид}}$). Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., (J , Гц): 1.28 с (6H, $\text{H}^{11,11,11,13,13,13}$), 4.97-5.03 м (1H, H^{10}), 8.66 с (1H, H^7), 7.21-7.24 м (H, H^3), 8.27-8.28 м (1H, H^2), 8.03 с (1H, H^4), 8.50 с (1H, H^6). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ_{C} , м.д.: 22.32 ($\text{C}^{11,13}$), 69.24 (C^{10}), 153.60 (C^8), 123.87 (C^3), 125.98 (C^4), 135.72 (C^5), 140.13 (C^6), 143.95 (C^2). Спектр ЯМР COSY: $\text{H}^{11,13} \rightarrow \text{H}^{10}$, $\text{H}^3 \rightarrow \text{H}^2$. Спектр ЯМР HMQC: $\text{H}^{11,13} \rightarrow \text{C}^{11,13}$, $\text{H}^{10} \rightarrow \text{C}^{10}$, $\text{H}^3 \rightarrow \text{C}^3$, $\text{H}^4 \rightarrow \text{C}^4$, $\text{H}^2 \rightarrow \text{C}^2$, $\text{H}^6 \rightarrow \text{C}^6$. Спектр ЯМР HMBC: $\text{H}^{11,13} \rightarrow \text{C}^{10}$; $\text{H}^3 \rightarrow \text{C}^5$; $\text{H}^4 \rightarrow \text{C}^2$; $\text{H}^2 \rightarrow \text{C}^3$; $\text{H}^6 \rightarrow \text{C}^4$, C^5 , C^2 .

Бутил-пиридин-3-ил карбомам (7). К никотиноилазиду 0,5 г (0,0033 М) в 10 мл бензоле добавляют при перемешивании 0,32 г (0,0043 М) бутанола. Реакционную смесь кипятят в течение 1 часа, а затем охлаждают до комнатной температуры. Сырой продукт отфильтровывают и сушат. Выход продукта составляет 0,47 г (64%), белый порошок, т. пл. $72\text{--}75^\circ\text{C}$. Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м.д., (J , Гц): 0.88-0.93 м (3H, $\text{H}^{13,13,13}$), 1.33-1.40 м (2H, $\text{H}^{12,12}$), 1.60-1.67 м (2H, $\text{H}^{11,11}$), 4.15-4.18 м (2H, $\text{H}^{10,10}$), 8.58 уш. с (1H, H^7), 7.23-7.26 м (1H, H^3), 8.28-8.29 м (1H, H^2), 8.10 с (1H, H^4), 8.52 с (1H, H^6). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ_{C} , м.д.: 13.81 (C^{13}), 19.14 (C^{12}), 31.16 (C^{11}), 65.46 (C^{10}), 123.97 (C^3), 126.00 (C^4), 135.93 (C^5), 139.88 (C^6), 143.77 (C^2), 154.26 (C^8). Спектр ЯМР COSY: $\text{H}^{13} \rightarrow \text{H}^{12}$, $\text{H}^{12} \rightarrow \text{H}^{11}$, $\text{H}^{11} \rightarrow \text{H}^{10}$, $\text{H}^3 \rightarrow \text{H}^2$. Спектр ЯМР HMQC: $\text{H}^{13} \rightarrow \text{C}^{13}$, $\text{H}^{12} \rightarrow \text{C}^{12}$, $\text{H}^{11} \rightarrow \text{C}^{11}$, $\text{H}^{10} \rightarrow \text{C}^{10}$, $\text{H}^3 \rightarrow \text{C}^3$, $\text{H}^4 \rightarrow \text{C}^4$, $\text{H}^2 \rightarrow \text{C}^2$, $\text{H}^6 \rightarrow \text{C}^6$. Спектр ЯМР HMBC: $\text{H}^{13} \rightarrow \text{C}^{12}$, C^{11} ; $\text{H}^{12} \rightarrow \text{C}^{13}$, C^{11} , C^{10} ; $\text{H}^{11} \rightarrow \text{C}^{13}$, C^{12} , C^{10} ; $\text{H}^{10} \rightarrow \text{C}^{12}$, C^{11} , C^8 ; $\text{H}^3 \rightarrow \text{C}^5$, C^2 ; $\text{H}^4 \rightarrow \text{C}^2$; $\text{H}^2 \rightarrow \text{C}^4$; $\text{H}^6 \rightarrow \text{C}^4$, C^5 , C^2 .

N'-(Пиридин-3-ил)цитизино-карбоксамид (8). К цитизину 0,5129 г (0,0026 М) в 11,7 мл воде добавляют при перемешивании 0,108 г (0,0026 М) натрия гидроксида. Прибавляют 0,5 г (0,0033 М) никотиноилазида поддерживая рН=9,0-10,0 при помощи карбоната калия. Реакционную смесь перемешивают в течение 2 ч. Сырой продукт отфильтровывают и сушат, остаток хроматографируют на колонке с силикагелем (элюент - хлороформ, смесь хлороформа с этанолом, 100:1 → 10:1). Выход продукта 0,4 г (41 %), густое масло. ИК спектр (KBr), ν , см⁻¹: 3462 (NH), 1647 (CO_{амид}). Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , м.д., (J, Гц): 1.99 с (2H, H^{13ax,14}), 2.41-2.52 м (1H, H^{13eq}), 2.83-3.31 м (3H, H^{11ax,11eq,12}), 3.62-3.82 (2H, м, H^{15ax,22ax}), 4.01-

4.20 м (1H, H^{15eq}), 4.79 уш. с (1H, H^{22eq}), 5.81-5.94 м (1H, H²⁰), 6.35-6.46 м (1H, H¹⁸), 7.15-7.24 м (4H, H^{19,3,4,6}), 8.02 с (1H, H⁷), 8.50 с (1H, H²). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ _C, м.д.: 26.24 (C¹⁴), 27.89 (C¹³), 34.88 (C¹²), 48.60 и 48.69 (C¹⁵ и C²²), 54.95 (C¹¹), 105.41 (C²⁰), 117.96 (C¹⁸), 123.38 (C³, C⁴), 131.16 (C⁵), 134.75 (C⁶), 147.38 (C²¹), 148.93 (C¹⁹), 150.76 (C²), 163.30 (C⁸), 168.66 (C¹⁷). Спектр ЯМР COSY: H¹⁴→H^{13ax}, H^{13ax}→H¹², H²⁰→H¹⁹, H¹⁸→H¹⁹. Спектр ЯМР НМРС: H^{13ax,13eq,14}→C^{13,14}, H¹²→C¹², H^{11ax}→C¹¹, H^{15eq}→C¹⁵, H^{15ax,22ax}→C^{15,22}, H²⁰→C²⁰, H¹⁸→C¹⁸, H³→C³, H¹⁹→C¹⁹, H²→C². Спектр ЯМР НМВС: H¹⁴→C¹³, H¹⁴→C¹², H¹⁴→C^{15,22}, H¹⁴→C¹¹, H¹⁴→C²¹.

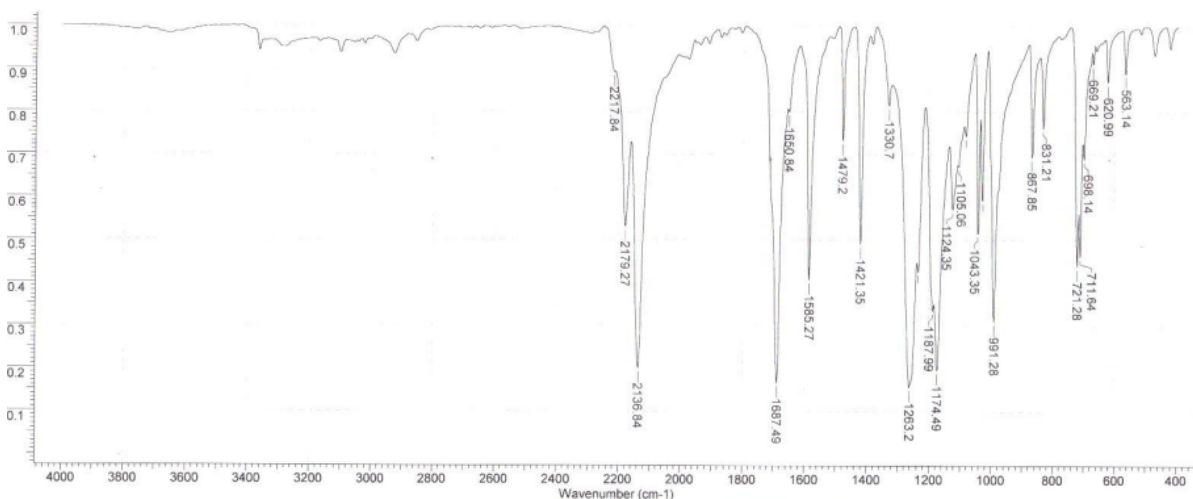
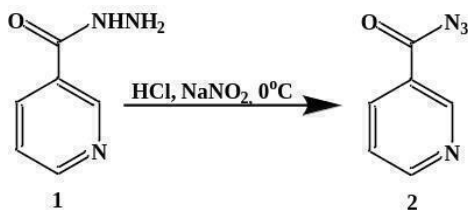


Рис.1 - ИК спектр азид никотиновой кислоты (2) (KBr)

Результаты и обсуждение. Нами в течение ряда лет проводятся исследования по синтезу и изучению фармакологических свойств новых производных никотиновой кислоты [13-17]. В настоящей работе, в целях расширения арсенала биоактивных веществ производных никотиновой

кислоты, осуществлен синтез азид и проведение его дальнейшая модификация. Синтез азид никотиновой кислоты осуществлялась действием водного раствора нитрита натрия на гидразид никотиновой кислот (1) в смеси концентрированной соляной кислоты и воды при охлаждении реакци-

онной смеси ($0\pm 2^\circ\text{C}$). В результате реакций с количественным выходом (99%) получен азид никотиновой кислоты (**2**).

Строение соединения **2** было подтверждено методами ИК-, ЯМР ^1H - и ^{13}C -спектроскопии.

В ИК-спектре азида **2** имеются полосы поглощения азидной и амидной групп: в области 2136 и 1263 см^{-1} присутствуют полосы поглощения, характерные для $\text{N}=\text{N}$ группы азидного фрагмента, а полоса поглощения амидной группы $\text{C}(\text{O})\text{NH}$ проявляется в области 1687 см^{-1} (рисунок 1).

Спектр ЯМР ^1H соединения – азида никотиновой кислоты (**2**) пиридиновые протоны Н-3, Н-4 и Н-2 проявились однопротонными мультиплетами при $7.38\text{--}7.42$, $8.25\text{--}8.28$ и $8.80\text{--}8.81$ м.д. Пиридиновый протон Н-6 регистрировался однопротонным синглетом при 8.19 м.д.

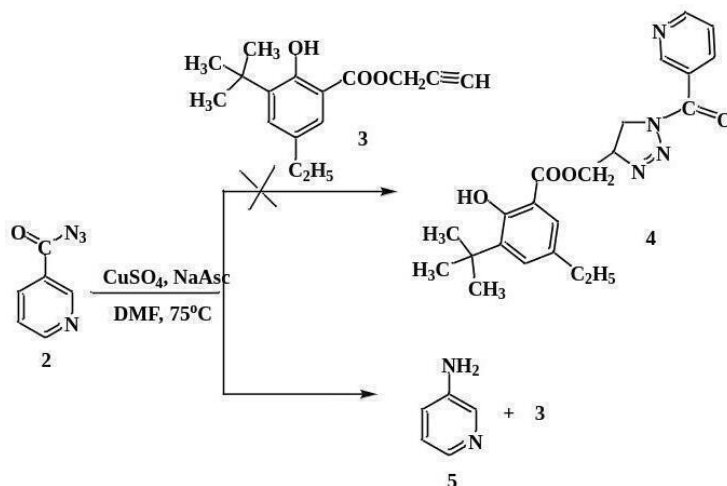
В спектре ЯМР ^{13}C соединения **2** сигналы углеродных атомов пиридинового фрагмента проявились при 123.45 (С-3), 126.48 (С-5), 136.63 (С-4), 150.58 (С-6) и 154.53 (С-2) м.д. Атомы углерода карбонильной группы С-7 проявились при 171.17 м.д.

Для оценки реакционной способности азида никотиновой кислоты **2** были проведены реакции взаимодействия азида **2** со спиртами и вторичным амином. Реакции образования производных 1,2,3-триазола путём конденсации органических азидов с алкинами в присутствии $\text{Cu}(\text{I})$ (циклоприсоединение Хьюсена) [12] была выбрана как

возможный способ получения multifunctional соединений («двойных лекарств») на основе азида никотиновой кислоты. Учитывая тот факт, что азид никотиновой кислоты образуется с хорошим выходом в достаточно мягких условиях, нами было сделано предположение, что реакция с различными алкинами, в присутствии соединений $\text{Cu}(\text{I})$ в качестве катализатора, могут привести к замещённым производным, содержащим фрагмент 1,2,3-триазола.

В результате проведенных исследований установлено, что взаимодействие никотиноилазида (**2**) с терминальным ацетиленом спиртом – проп-2-иниловым эфиром 3-трет-бутил-5-этил-2-гидроксибензойной кислоты (**3**) в среде ДМФА и нагревании ($70\text{--}80^\circ\text{C}$) в присутствии медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ в присутствии аскорбата натрия (NaAsc) не приводит к образованию ожидаемого 1,2,3-триазольного соединения **4**. После очистки реакционной массы на Флеш колонке полученный новый продукт был охарактеризован как 3-аминопиридин (**5**) с выходом 42% и исходное ацетиленовое соединение **3**.

Строение выделенных продуктов **3** и **5** было доказано методами ЯМР ^1H -, ^{13}C - спектроскопии. Так, в спектре ЯМР ^1H соединения **5** пиридиновые протоны Н-3, Н-4 и Н-2 проявились однопротонными мультиплетами при $7.44\text{--}7.46$, $7.70\text{--}7.72$ и $8.44\text{--}8.46$ м.д. Пиридиновый протон Н-6 регистрировался однопротонным синглетом при 8.71 м.д. Аминные протоны Н-7,7 проявились двухпротонным синглетом при 6.30 м.д.

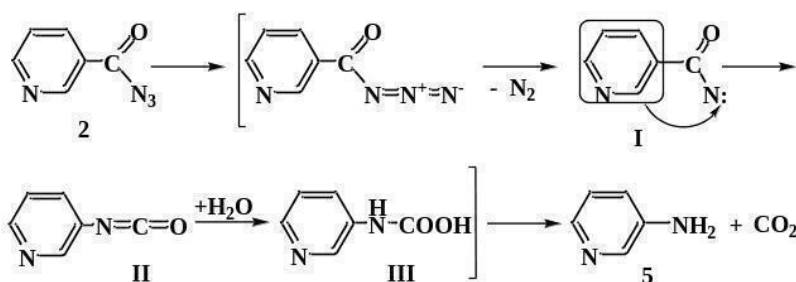


В спектре ЯМР ^{13}C соединения **5** сигналы углеродных атомов пиридинового фрагмента проявились при 122.00 (C-4), 124.80 (C-3), 137.85 (C-6), 139.00 (C-2) и 146.20 (C-5) м.д.

В спектре ЯМР ^1H ацетиленового соединения **3** метильные протоны H-11,11,11 проявились трехпротонным мультиплетом при 1.17-1.21 м.д. Метильные протоны H-9,9,9,14,14,14,15,15,15 регистрировались трехпротонным синглетом при 1.38 м.д. Метиленовые протоны H-10,10 проявились двухпротонным мультиплетом при 2.51-2.54 м.д. Ацетиленовый протон H-19 регистрировался однопротонным синглетом при 2.58 м.д. Метиленовые протоны H-17,17 проявились двухпро-

тонным мультиплетом при 4.91-4.92 м.д. Ароматические протоны H-3 и H-5 регистрировались однопротонными синглетами при 7.29 и 7.56 м.д. соответственно. Гидроксильный протон H-7 резонировал однопротонным синглетом при 11.09 м.д.

Показано, что при нагревании азид **2** разлагается с образованием промежуточной частицы (**I**) — нитрена, последующая миграция пиридинского радикала к атому азота (перегруппировка Курциуса) приводит к изоцианату (**II**). В результате гидратации изоцианата **II** и последующего декарбосилирования образовавшейся карбаминной кислоты (**III**) получается 3-аминопиридин (**5**).



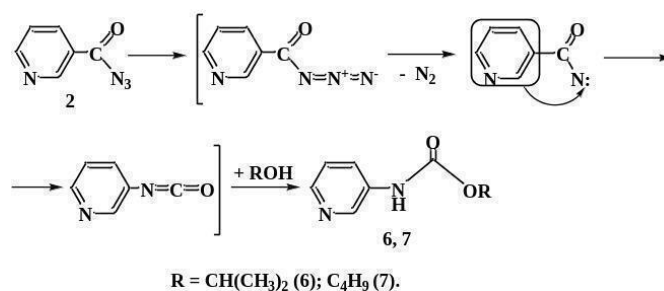
Результаты проведенных исследований по синтезу 1,2,3-триазолсодержащего производного на основе азиды никотиновой кислоты не привели к желаемому целевому продукту **4** - конечными продуктами были 3-аминопиридин **5** и исходное ацетиленовое соединение **3**.

Продолжая наши исследования в области синтеза биологически активных веществ, мы рассмотрели возможность использования перегруппировки Курциуса при превращении азиды никотиновой кислоты в изоцианат с последующим его взаимодействием с соединениями, несущими активный атом водорода, такими как спирты, амины и т.д., которые обычно приводят к образованию уретанов, мочевины и других соединений [16].

В научной литературе для синтеза изоцианата широко используется перегруппировка, включающее образование ацил- и арилнитренов как об-

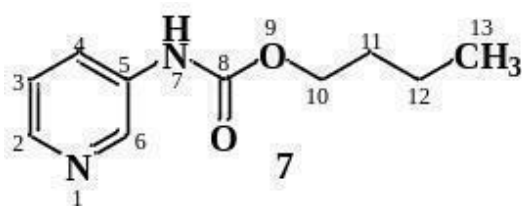
щих интермедиатов [17]. Эти перегруппировки происходят за счет наличия электронного секстета у атома азота. При перегруппировке по Курциусу азид ароматической кислоты распадается при нагревании на изоцианат с выделением азота.

В связи с этим мы провели взаимодействие никотиноилазида со спиртами (изопропиловый и бутиловый спирты). Поскольку изоцианат легко образуется при нагревании азиды никотиновой кислоты в безводной среде [17], отпадает необходимость его предварительного выделения. При нагревании в среде сухого инертного растворителя (бензол) азид никотиновой кислоты (**2**) претерпевает перегруппировку Курциуса, с образованием изоцианата, который реагирует *in situ* со спиртами при кипячении в течение 1-2 часов с образованием соответствующих уретанов **6**, **7**, выделяемых в твердом виде из реакционной среды.



Строение синтезированных уретанов **6, 7** доказаны методами ЯМР¹H-, ¹³C- и двумерной спектроскопии НМҚС (¹H-¹³C), позволяющей установить спин-спиновые взаимодействия протонов с атомами углерода гетероядерной природы. Так, спектр ЯМР ¹H соединения **7** характеризуется присутствием четырех мультиплетных сигналов бутилкарбаматного фрагмента при 0.88-0.93 (3H,

H-13, 13, 13), 1.33-1.40 (2H, H-12, 12), 1.60-1.67 (2H, H-11, 11) и 4.15-4.18 (2H, H-10, 10) м.д. Карбаматный протон H-7 проявился уширенным синглетом с наложением на пиридиновые протоны при 8.58 м.д. Пиридиновые протоны проявились однопротонными мультиплетами при 7.23-7.26 (H-3) и 8.28-8.29 (H-2) и однопротонными синглетами при 8.10 (H-4) и 8.52 (H-6) м.д.



В спектре ЯМР ¹³C соединения **7** сигналы углеродных атомов бутилкарбаматного фрагмента проявились при 13.81 (C-13), 19.14 (C-12), 31.16 (C-11), 65.46 (C-10) и 154.26 (C-8) м.д. Углеродные атомы пиридинового фрагмента регистрировались при 123.97 (C-3), 126.00 (C-4), 135.93 (C-5), 139.88 (C-6) и 143.77 (C-2) м.д.

Строение соединения **7** было подтверждено также методами двумерной спектроскопии ЯМР COSY (¹H-¹H), НМҚС (¹H-¹³C) и НМВС (¹H-¹³C), позволяющей установить спин-спиновые взаимодействия гомо- и гетероядерной природы. Наблюдаемые корреляции ЯМР COSY (¹H-¹H) и НМҚС (¹H-¹³C) в молекуле представлены на рисунке 2.

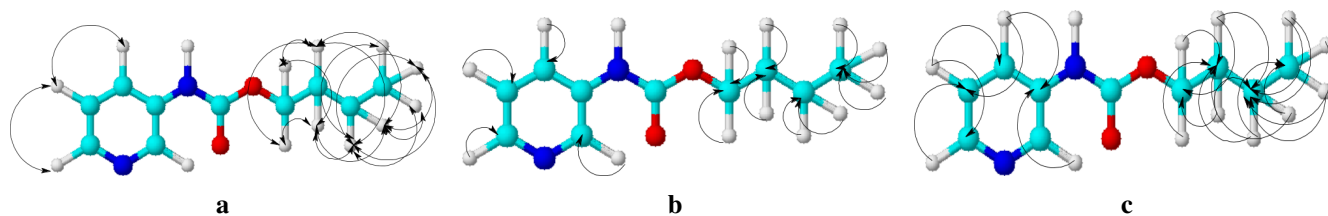


Рис. 2 - Схема корреляций в спектрах COSY (a), НМҚС (b) и НМВС (c) соединения **7**

В спектрах ¹H-¹H COSY соединения **7** наблюдаются спин-спиновые корреляции через три связи протонов соседних метил-метиленовых, метилен-метиленовых и метин-метинных групп

H¹³-H¹² (0.89, 1.37 и 1.37, 0.89), H¹²-H^{11e} (1.35, 1.60 и 1.60, 1.35), H¹¹-H¹⁰ (1.60, 4.14 и 4.14, 1.60), H³-H² (7.22, 8.26 и 8.26, 7.22) м.д.

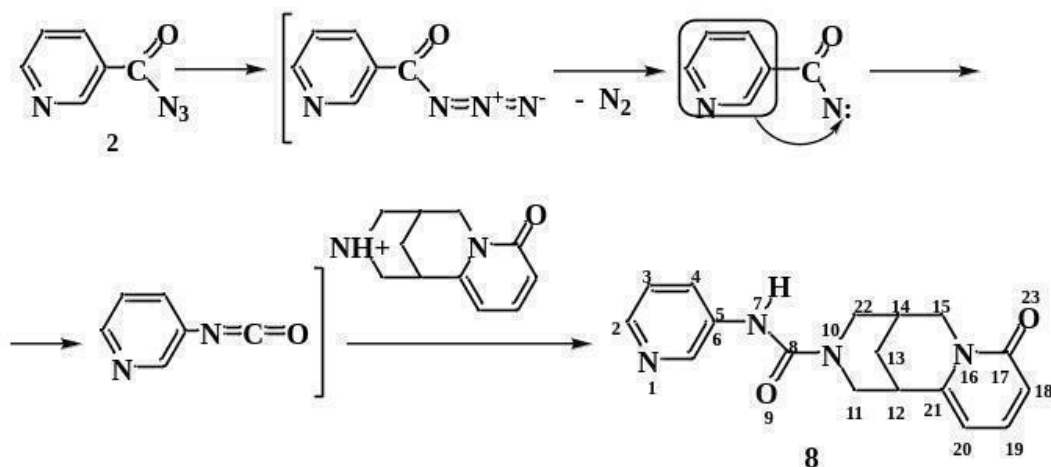
Гетероядерные взаимодействия протонов с ато-

мами углерода через одну связь были установлены с помощью спектроскопии ^1H - ^{13}C НМРС для следующих присутствующих в соединений пар: $\text{H}^{13}\text{-C}^{13}$ (0.89, 14.00), $\text{H}^{12}\text{-C}^{12}$ (1.33, 19.20), $\text{H}^{11}\text{-C}^{11}$ (1.61, 31.17), $\text{H}^{10}\text{-C}^{10}$ (4.16, 65.52), $\text{H}^3\text{-C}^3$ (7.24, 124.14), $\text{H}^4\text{-C}^4$ (8.11, 126.20), $\text{H}^2\text{-C}^2$ (8.26, 144.29), $\text{H}^6\text{-C}^6$ (8.51, 139.94) м.д.

Гетероядерные взаимодействия протонов с атомами углерода через две и более связи были установлены с помощью спектроскопии ^1H - ^{13}C НМВС для следующих присутствующих в соединении пар: $\text{H}^{13}\text{-C}^{12}$ (0.89, 19.10), $\text{H}^{13}\text{-C}^{11}$ (0.89, 31.20); $\text{H}^{12}\text{-C}^{13}$ (1.35, 14.01), $\text{H}^{12}\text{-C}^{11}$ (1.35, 30.99), $\text{H}^{12}\text{-C}^{10}$ (1.35, 65.40); $\text{H}^{11}\text{-C}^{13}$ (1.62, 14.01), $\text{H}^{11}\text{-C}^{12}$ (1.62, 19.20), $\text{H}^{11}\text{-C}^{10}$ (1.62, 65.63); $\text{H}^{10}\text{-C}^{12}$ (4.14, 19.36), $\text{H}^{10}\text{-C}^{11}$ (4.14, 30.99), $\text{H}^{10}\text{-C}^8$ (4.14, 154.44); $\text{H}^3\text{-C}^5$ (7.24, 135.61), $\text{H}^3\text{-C}^2$ (7.24, 143.75); $\text{H}^4\text{-C}^2$

(8.05, 143.75); $\text{H}^2\text{-C}^4$ (8.27, 125.15); $\text{H}^6\text{-C}^4$ (8.52, 126.08), $\text{H}^6\text{-C}^5$ (8.52, 136.07), $\text{H}^6\text{-C}^2$ (8.52, 144.44) м.д.

В целях расширения арсенала БАВ и изучение реакционной способности азида никотиновой кислоты (**2**) с аминами, проведено его взаимодействие с молекулой алкалоида цитизина. Показано, что при нагревании в среде сухого бензола азид никотиновой кислоты (**2**) претерпевает перегруппировку Курциуса с образованием изоцианата, который реагирует, *in situ*, с молекулой цитизина при кипячении в течение 1-2 часов с образованием мочевины **8**. Для выделения мочевины **8** растворитель отгоняют в вакууме, остаток хроматографируют на колонке с силикагелем (элюент: хлороформ, смесь хлороформа с этанолом, 100:1 \rightarrow 10:1).



Спектр ЯМР ^1H соединения **8** характеризуется присутствием сигналов протонов биспидиновых циклов цитизинового фрагмента при 1.99 (2H, с, Н-13ах, 14), 2.41-2.52 (1H, м, Н-13еа), 2.83-3.31 (3H, м, Н-11ах, 11еа, 12), 3.62-3.82 (2H, м, 15ах, 22ах), 4.01-4.20 (1H, м, Н-15еа) и 4.79 (1H, уш. с, Н-22еа) м.д. Ароматические протоны цитизинового фрагмента регистрировались при 5.81-5.94 (1H, м, Н-20), 6.35-6.46 (1H, м, Н-18) и при 7.15-7.24 вместе с протонами пиридинового фрагмента (4H, м, Н-19, 3, 4, 6) м.д. Протон Н-2 пиридинового фрагмента проявился однопротон-

ным синглетным сигналом при 8.50 м.д. Аминный протон Н-7 регистрировался уширенным однопротонным синглетом при 8.02 м.д.

В спектре ЯМР ^{13}C соединения **8** сигналы углеродных атомов цитизинового фрагмента молекулы проявились при 26.24 (C-14), 27.89 (C-13), 34.88 (C-12), 48.60 и 48.69 (C-15 и C-22), 54.95 (C-11), 105.41 (C-20), 117.96 (C-18), 148.93 (C-19), 147.38 (C-21), 168.66 (C-17) м.д. Углеродные атомы пиридинового фрагмента регистрировались при 123.38 (C-3, C-4), 131.16 (C-5), 134.75 (C-6) и 150.76 (C-2) м.д. Карбамидный углерод-

ный атом С-8 регистрировался при 1683.30 м.д.

Строение соединения **8** было подтверждено также методами двумерной спектроскопии ЯМР COSY (^1H - ^1H), HMQC (^1H - ^{13}C) и HMBC (^1H - ^{13}C), позволяющей установить спин-спиновые взаимодействия гомо- и гетероядерной природы. Наблюдаемые корреляции ЯМР COSY (^1H - ^1H) и HMQC (^1H - ^{13}C) в молекуле представлены на рисунке 3.

В спектрах ^1H - ^1H COSY соединения **8** наблюдаются спин-спиновые корреляции через три связи протонов соседних метин-метиленовых, метилен-метиленовых и метин-метинных групп H^{14} - $\text{H}^{13\text{ax}}$ (1.85, 2.25 и 2.25, 1.85), $\text{H}^{13\text{ax}}$ - H^{12} (1.85, 2.82 и 2.82, 1.85), H^{20} - H^{19} (5.91, 7.19 и 7.19, 5.91), H^{18} - H^{19} (6.45, 7.23 и 7.23, 6.45) м.д.

Гетероядерные взаимодействия протонов с атомами углерода через одну связь были установлены с помощью спектроскопии ^1H - ^{13}C HMQC для следующих присутствующих в соединении пар: $\text{H}^{13\text{ax},13\text{eq},14}$ - $\text{C}^{13,14}$ (1.98, 26.35), H^{12} - C^{12} (2.92, 34.59), $\text{H}^{11\text{ax}}$ - C^{11} (2.95, 53.78), $\text{H}^{15\text{eq}}$ - C^{15} (4.04, 49.80), $\text{H}^{15\text{ax},22\text{ax}}$ - $\text{C}^{15,22}$ (3.73, 48.95), H^{20} - C^{20} (5.92, 104.93), H^{18} - C^{18} (6.43, 117.82), H^3 - C^3 (7.13, 123.10), H^{19} - C^{19} (7.21, 139.16), H^2 - C^2 (8.49, 150.99) м.д.

Гетероядерные взаимодействия протонов с атомами углерода через две и более связи были установлены с помощью спектроскопии ^1H - ^{13}C HMBC для следующих присутствующих в соединении пар: H^{14} - C^{13} (1.98, 27.89), H^{14} - C^{12} (1.98, 34.83), H^{14} - $\text{C}^{15,22}$ (1.98, 48.48), H^{14} - C^{11} (1.98, 54.52), H^{14} - C^{21} (1.98, 148.52) м.д.

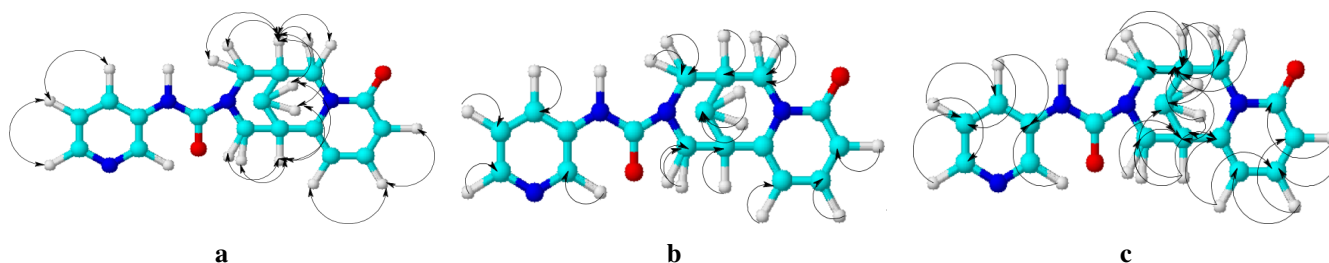


Рис. 3 - Схема корреляций в спектрах COSY (а), HMQC (b) и HMBC (c) соединения **8**

Таким образом, взаимодействием азид никотиновой кислоты со спиртами (изопропиловый и бутиловый спирты) и вторичным амином (алкалоидом цитизин) синтезированы и охарактеризованы новые уретаны и мочевины, строение которых подтверждены данными ЯМР ^1H - и ^{13}C -спектроскопии, а также анализом двумерных спектров COSY (^1H - ^1H) и HMQC (^1H - ^{13}C).

Выводы. Осуществлен синтез никотиноилазида взаимодействием нитрита натрия с гидразидом никотиновой кислоты. С целью синтеза производных 1,2,3-триазола осуществлено взаимодействие азид никотиновой кислоты с терминальным ацетиленом - проп-2-иниловым эфиром 3-трет-бутил-5-этил-2-гидроксibenзойной кислоты в среде ДМФА и нагревании (70-80°C) в присутствии медного купороса $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ и аскорбата натрия (NaAsc). Установлено, что в ре-

зультате реакции образуется не ожидаемое 1,2,3-триазольное соединение, а 3-аминопиридин и исходное ацетиленовое соединение. Показано, что при нагревании получаемый в ходе реакции азид разлагается с образованием промежуточной частицы - нитрена, а последующая миграция пиридинского радикала к атому азота (перегруппировка Курциуса) приводит к изоцианату. В результате гидратации изоцианата и последующего декарбоксилирования образовавшейся карбаминной кислоты получается 3-аминопиридин. Изучено взаимодействие азид никотиновой кислоты со спиртами (изопропиловый и бутиловый спирты) и вторичным амином (алкалоидом цитизином). Показано, что при нагревании в среде сухого растворителя (бензол) азид никотиновой кислоты претерпевает перегруппировку Курциуса с образованием изоцианата, который реагиру-

ет *in situ* со спиртами и алкалоидом цитизином с образованием соответствующих уретанов и мочевины.

Финансирование: Научно-исследовательская работа осуществлена в рамках ГФ АР14869941 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Литература

1. Timmins G.S., Master S., Rusnak F., Deretic V. Nitric oxide generated from isoniazid activation by KATG: Source of nitric oxide and activity against mycobacterium tuberculosis // *Antimicrob. Agents Chemother.*, 2004. - № 48(8).- P. 3006-3009.
DOI 10.1128/AAC.48.8.3006-3009.2004
2. Josey J.A., Wallace E.M., Du X., Goggin B. Междунар. заявка WO 2016145032. С.А. 2016, 165, 416470.
3. Mohamed-Ahmed A.H.A., Wilson M.P., Albuera M., Chen T., Mills P.B., Footitt E.J., Clayton P.T., Tuleu C. Quality and stability of extemporaneous pyridoxal phosphate preparations used in the treatment of paediatric epilepsy // *J. Pharm. Pharmacol.*, 2017. - № 69(4).- P. 480-488.
DOI 10.1111/jphp.12701
4. Sakurada I., Endo Matsumoto S., Mizuno, Nosaka Y, Kato V., Maeda Y., Matsumoto S., Mizuno T., Nagasue H., Takeuchi K., Yokoyama T., Hruza A., Reichert P., Takihr K., Yokoyda S, T, inozaki M., Taguchi K, Zhang T., Wood H.B., Nakao K., Furusako S. Discovery of novel aminobenzisoxazole derivatives as orally available factor IXa inhibitors // *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 2017. - №27(11) - P. 2622-2628. DOI 10.1016/j.bmcl.2017.03.002
5. Sakurada I., Hirabayashi T., Maeda Y., Nagasue H., Mizuno T., Xu J., Zhang T., Smith C., Parker D. Междунар. заявка WO 2015160636. С.А. 2015, 163, 617864.
6. Eastman K.J., Parcella K.E., Peese K., Kad-Ow J.F., Naidu N.B. Междунар. заявка WO 2015126765. С.А. 2015, 163, 363304.
7. Peese K., Wang Z., Kadow J.F., Sivaprakasam P., Naidu N.B. Пат. 3114129. Европ. С.А. 2017, 163, 363281.
8. Greenberg W.A., Priestley E.S., Sears P.S., Alper P.B., Rosenbohm C., Hendrix M., Hung S.C., Wong C.H. Design and synthesis of new aminoglycoside antibiotics containing neamine as an optimal core structure // *J. Am. Chem. Soc.*-1999. - №121(28).- P. 6527-6541. DOI 10.1021/ja9910356
9. Hang H.C., Yu C., Pratt M.R., Bertozzi C.R. Probing glycosyltransferase activities with the staudinger ligation // *J. Am. Chem. Soc.*-2004. - №126(1).- P. 6-7. DOI 10.1021/ja037692m
10. Liu L. H., Yan M. Perfluorophenyl azides: New Applications in Surface Functionalization and Nanomaterial Synthesis // *Acc. of Chem. Res.*-2010. - № 43(11).- P.1434-1443. DOI 10.1021/ar100066t
11. Piantadosi C., Marasco Jr.C. J., Morris-Natschke S.L., Meyer K.L., Gumus F., Surles J.R., Ishaq K.S., Kucera L.S. Synthesis and evaluation of novel ether lipid nucleoside conjugates for anti-HIV-1 activity // *J. Med. Chem.*-1991. - № 34(4).- P.1408-1414.
DOI 10.1021/jm00108a025
12. Huisgen R. 1,3-Dipolar Cycloadditions. Past and Future // *Angew. Chem.* - 196. - № 2(10). - P. 565-598. DOI 10.1002/anie.196305651
13. Nurkenov O.A., Fazylov S.D., Shulgau Z.T., Abdrasilov B.S., Khlebnikov A.I., Seilkhanov T.M., Kabieva S.K., Karipova G.Zh. Synthesis, structure and antiradical activity of functionally substituted

hydrazides of isonicotinic acid // Eurasian Chem. Technol. J.-2023. - № 25(2).- P.121-128. DOI 10.18321/ectj1502.

14. Нуркенов О.А., Фазылов С.Д., Нурмаганбетов Ж.С., Сейлханов Т.М., Мендибаева А.Ж. Синтез и строение новых тиомочевинных производных никотиновой кислоты с фрагментами природных алкалоидов // Известия НАН РК. Серия химии и технологий. – 2024. - №1(458).-С. 106-115. DOI 10.32014/2024.2518-1491.211

15. Нуркенов О.А., Мендибаева А.Ж., Фазылов С.Д., Сейлханов Т.М., Кабиева С.К., Сагбаева Э.М., Карипова Г.Ж., Сыздыков А.К. Синтез четвертичных аммониевых солей гидразонов изоникотиновой и никотиновой кислот и их противовоспалительная активность // Химический журнал Казахстана.- 2024. - №1 (85).- С. 154-166.

DOI 10.51580/2024-1.2710-1185.15

16. Нестерова Е.Ю., Пугачева А.С., Воевудский М.В., Станкевич О.С. Применение перегруппировки Курциуса в синтезе β-аминоникотиновой кислоты // Вісник ДНУ. Сер. Хімія. -2007. - №10(2).-С. 72-75.

17. Нестерова Е.Ю., Пугачева А.С., Воевудский М.В., Ващенко В.В. Реакция гидразиолиза уретанов пиридинового ряда // Вопросы химии и химической технологии.- 2011. - №5.- С. 33-39.

References

1. Timmins G.S., Master S., Rusnak F., Deretic V. Nitric oxide generated from isoniazid activation by KATG: Source of nitric oxide and activity against mycobacterium tuberculosis // Antimicrob. Agents Chemother., 2004. - № 48(8).- P. 3006-3009.

DOI 10.1128/AAC.48.8.3006-3009.2004

2. Josey J.A., Wallace E.M., Du X., Goggin B. Междунар. заявка WO 2016145032. С.А. 2016, 165, 416470.

3. Mohamed-Ahmed A.H.A., Wilson M.P., Albuera M., Chen T., Mills P.B., Footitt E.J., Clayton P.T., Tuleu C. Quality and stability of extemporaneous pyridoxal phosphate preparations used in the treatment of paediatric epilepsy //J. Pharm. Pharmacol., 2017. - № 69(4).- P. 480-488.

DOI 10.1111/jphp.12701

4. Sakurada I., Endo Matsumoto S., Mizuno, Nosaka Y, Kato V., Maeda Y., Matsumoto S., Mizuno T., Nagasue H., Takeuchi K., Yokoyama T., Hruza A., Reichert P., Takihir K., Yokoyda S, T, inozaki M., Taguchi K, Zhang T., Wood H.B., Nakao K., Furusako S. Discovery of novel aminobenzisoxazole derivatives as orally available factor IXa inhibitors // Bioorg. Med. Chem. Lett., 2017. - №27(11) - P. 2622-2628. DOI 10.1016/j.bmcl.2017.03.002

5. Sakurada I., Hirabayashi T., Maeda Y., Nagasue H., Mizuno T., Xu J., Zhang T., Smith C., Parker D. Междунар. заявка WO 2015160636. С.А. 2015, 163, 617864.

6. Eastman K.J., Parcella K.E., Peese K., Kad-Ow J.F., Naidu N.B. Междунар. заявка WO 2015126765. С.А. 2015, 163, 363304.

7. Peese K., Wang Z., Kadow J.F., Sivaprakasam P., Naidu N.B. Пат. 3114129. Европ. С.А. 2017, 163, 363281.

8. Greenberg W.A., Priestley E.S., Sears P.S., Alper P.B., Rosenbohm C., Hendrix M., Hung S.C., Wong C.H. Design and synthesis of new aminoglycoside antibiotics containing neamine as an optimal core structure // J. Am. Chem. Soc.-1999. - №121(28).- P. 6527-6541. DOI 10.1021/ja9910356

-
9. Hang H.C., Yu C., Pratt M.R., Bertozzi C.R. Probing glycosyltransferase activities with the staudinger ligation // J. Am. Chem. Soc.-2004. - №126(1).- P. 6-7. DOI 10.1021/ja037692m
10. Liu L. H., Yan M. Perfluorophenyl azides: New Applications in Surface Functionalization and Nanomaterial Synthesis // Acc. of Chem. Res.-2010. - № 43(11).- P.1434-1443. DOI 10.1021/ar100066t
11. Piantadosi C., Marasco Jr.C. J., Morris-Natschke S.L., Meyer K.L., Gumus F., Surlles J.R., Ishaq K.S., Kucera L.S. Synthesis and evaluation of novel ether lipid nucleoside conjugates for anti-HIV-1 activity // J. Med. Chem.-1991. - № 34(4).- P.1408-1414.
DOI 10.1021/jm00108a025
12. Huisgen R.1,3-Dipolar Cycloadditions. Past and Future // Angew. Chem. - 196. - № 2(10). - P. 565-598. DOI 10.1002/anie.196305651
13. Nurkenov O.A., Fazylov S.D., Shulgau Z.T., Abdrasilov B.S., Khlebnikov A.I., Seilkhanov T.M., Kabieva S.K., Karipova G.Zh. Synthesis, structure and antiradical activity of functionally substituted hydrazides of isonicotinic acid // Eurasian Chem.Technol. J.-2023. - № 25(2).- P.121-128. DOI 10.18321/ectj1502.
14. Nurkenov O.A., Fazylov S.D., Nurmaganbetov Zh.S., Sejlhanov T.M., Mendibaeva A.Zh. Sintez i stroenie novyh tiomochevinyh proizvodnyh nikotinovoj kisloty s fragmentami prirodnyh alkaloidov // Izvestija NAN RK. Serija himii i tehnologij. – 2024. - №1(458).-S. 106-115. DOI 10.32014/2024.2518-1491.211
15. Nurkenov O.A., Mendibaeva A.Zh., Fazylov S.D., Sejlhanov T.M., Kabieva S.K., Satbaeva Je.M., Karipova G.Zh., Syzdykov A.K. Cintez chetvertichnyh ammonievyyh solej gidrazonov izonikotinovoj i nikotinovoj kislot i ih protivovospalitel'naja aktivnost' // Himicheskij zhurnal Kazahstana.-2024. - №1 (85).- S. 154-166. DOI 10.51580/2024-1.2710-1185.15
16. Nesterova E.Ju., Pugacheva A.S., Voevodskij M.V., Stankevich O.S. Primenenie peregrupirovki Kurciosa v sinteze β -aminonikotinovoj kisloty // Visnik DNU. Ser. Himija. -2007. - №10(2). – S. 72-75.
17. Nesterova E.Ju., Pugacheva A.S., Voevodskij M.V., Vashhenko V.V. Reakcija gidrazinoliza uretanov piridinovogo rjada // Voprosy himii i himicheskoy tehnologii. -2011.- №5.-S. 33-39.

Сведения об авторах

Нуркенов О.А.-доктор химических наук, заведующий лабораторией синтеза биологически активных веществ, Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Караганда, Казахстан, e-mail: nurkenov_oral@mail.ru;

Мендибаева А.Ж. - младший научный сотрудник, Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Караганда, Казахстан, e-mail: anenyawa@mail.ru;

Фазылов С.Д.- (автор-корреспондент) - академик НАН РК, доктор химических наук, главный научный сотрудник, Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Караганда, Казахстан, e-mail: iosu8990@mail.ru;

Сеилханов Т.М. - кандидат химических наук, заведующий лабораторией инженерного профиля ЯМР - спектроскопии, Кокшетауский Университет им. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан, e-mail: tseilkhanov@mail.ru;

Нурмаганбетов Ж.С.- кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Караганда, Казахстан, e-mail:nzhangeldy@mail.ru;

Кабиева С.К.-кандидат химических наук, заведующая кафедрой Химическая технология и экология,

Карагандинский индустриальный университет, Казахстан, e-mail: kabieva.s@mail.ru;

Сыздыков А.К. - младший научный сотрудник, Институт органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Караганда, Казахстан, e-mail: ardak.syzdykov.96@inbox.ru

Information about authors

Nurkenov O.A.-Doctor of chemical sciences, Head of laboratory Synthesis of biologically active substances, Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: nurkenov_oral@mail.ru;

Mendibayeva A/Zh.-Junior researcher, Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: anenyawa@mail.ru;

Fazylov S.D.(*corresponding author*) - Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of chemical sciences, chief scientific officer, Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: iosu8990@mail.ru;

Seilkhanov T.M. - Candidate of chemical sciences, Head of the laboratory of engineering profile of NMR spectroscopy, Kokshetau Ualikhanov University, Kokshetau, Kazakhstan, e-mail: tseilkhanov@mail.ru;

Nurmaganbetov Zh.S. - Candidate of chemical sciences, Leading Researcher, Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: nzhangeldy@mail.ru;

Kabieva S.K.-Candidate of chemical sciences, Head of department of Chemical Technology and Ecology, Karaganda Industrial University, Kazakhstan, e-mail: kabieva.s@mail;

Syzdykov A.K.-Junior researcher, Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: ardak.syzdykov.96@inbox.ru;

DEVELOPMENT OF ANTIMICROBIAL PACKAGING MATERIALS FOR FOOD PRODUCTS BASED ON COPPER NANOPARTICLES

A.I.Samadun✉, **B.R. Taussarova**, **Zh.S. Nabyeva**, **G.T.Daribayeva**

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

✉Corresponding author: abdu.93_93@mail.ru

In the process of storage and delivery, food products are subjected to physical changes, resulting in moisture exchange between the product and the environment, mechanical damage, chemical processes occurring in the product itself, as well as microbiological damage. The use of packaging materials on the basis of polyolefins, reduce the influencing factors leading to rapid corruption of food products. However, by their nature, polyethylene and polypropylene films do not have antimicrobial properties. Therefore, in order for the packaging based on them to protect the product from microbiological damage, various technological techniques are used for the processing of packaging, as well as the introduction of special antimicrobial agents into the composition of the film. The present study developed a method of synthesis of copper oxide nanoparticles stabilized with gelatin and pectin. The synthesis was carried out by direct chemical sedimentation. Copper chloride was used as a precursor to the synthesis of copper oxide. Gelatin and pectin were used as stabilizers. Gelatin and pectin were used as a stabilizer as an environmentally friendly component of the film. In addition, consumers are interested in innovative, economical, harmless and effective food packaging materials.

The results showed that CuO nanoparticles, stabilized with gelatin and pectin, have a high potential for use in food packaging - both as a stand-alone nanoplane and as part of other packaging materials.

Keywords: CuO nanoparticles, gelatin, pectin, polylactide, antimicrobial, packaging.

МИКРОБҚА ҚАРСЫ ТАҒАМДЫҚ ҚАПТАМА МАТЕРИАЛДАРЫН МЫС НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ НЕГІЗІНДЕ ӘЗІРЛЕУ

А.И.Самадун, **Б.Р.Таусарова**, **Ж.С.Набиева**, **Г.Т.Дарибаева**

Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан,

e-mail: abdu.93_93@mail.ru

Сақтау және сату процесінде тамақ өнімдері физикалық өзгерістерге ұшырайды, нәтижесінде өнім мен қоршаған орта арасында ылғал алмасу, механикалық зақымдану, өнімнің өзінде болатын химиялық процестер, сондай-ақ микробиологиялық бүліну пайда болады. Полиолефиндерге негізделген орау материалдарын қолдану әсер етуші факторларды азайтуға мүмкіндік береді, бұл тағамның тез бұзылуына әкеледі. Алайда, табиғаты бойынша полиэтилен және полипропилен пленкалары микробқа қарсы қасиеттерге ие емес. Сондықтан, олардың негізінде қаптама өнімді микробиологиялық бұзылудан қорғау үшін қаптаманы өңдеудің әртүрлі технологиялық әдістері, сондай-ақ пленкаға, арнайы микробқа қарсы агенттерге кіріспе қолданылады. Бұл зерттеуде желатин мен пектинмен тұрақтандырылған мыс оксидінің нанобөлшектерін синтездеу әдісі жасалды. Синтез тікелей химиялық тұндыру арқылы жүзеге асырылды. Мыс оксидін синтездеу үшін прекурсорлар ретінде мыс хлориді қолданылды. Тұрақтандырғыш ретінде желатин мен пектин қолданылды. Желатин мен пектин экологиялық тұрақтандырғыш өнім ретінде қолданылды. Сонымен қатар, тұтынушылар инновациялық, үнемді, экологиялық таза және тиімді азық-түлік қаптама материалдарына қызығушылық танытуда.

Нәтижелер желатин мен пектинмен тұрақтандырылған CuO нанобөлшектерінің азық - түлік қаптамасында-тәуелсіз нанопленка ретінде де, басқа орау материалдарының бөлігі ретінде де пайдалану мүмкіндігі жоғары екенін көрсетті.

Түйін сөздер: CuO нанобөлшектері, желатин, пектин, полилактид, микробқа қарсы, орау.

РАЗРАБОТКА АНТИМИКРОБНЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ

А.И.Самадун, Б.Р.Таусарова, Ж.С.Набиева, Г.Т.Дарибаева

Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан,

e-mail: abdu.93_93@mail.ru

В процессе хранения и реализации пищевые продукты, подвергаются физическим изменениям, в результате которых происходит влагообмен между продуктом и окружающей средой, механическим повреждением, химическим процессам, протекающим в самом продукте, а также микробиологической порче. Применение упаковочных материалов на основе полиолефинов, позволяют снизить воздействующие факторы, приводящие к быстрой порче пищевых продуктов. Однако по своей природе полиэтиленовые и полипропиленовые пленки не обладают антимикробными свойствами. Поэтому для того, чтобы упаковка на их основе защищала продукт от микробиологической порчи, применяются различные технологические приемы по обработки упаковки, а также введение в состав пленки, специальных антимикробных агентов. В настоящем исследовании был разработан метод синтеза наночастиц оксида меди, стабилизированных желатином и пектином. Синтез осуществлялся путем прямого химического осаждения. В качестве предшественников для синтеза оксида меди использовались хлорид меди. В качестве стабилизатора использовался желатин и пектин. Как экологически продукт в качестве стабилизатора использовался желатин и пектин. Кроме того, потребители заинтересованы в инновационных, экономичных, экологически чистых и эффективных упаковочных материалах для пищевых продуктов.

Результаты показали, что наночастицы CuO, стабилизированные желатином и пектином, обладают высоким потенциалом для использования в упаковке пищевых продуктов - как в качестве самостоятельной нанопленки, так и в составе других упаковочных материалов.

Ключевые слова: наночастицы CuO, желатин, пектин, полилактид, антимикробная, упаковка.

Introduction. The issue of healthy and high-quality nutrition is global. In developing countries, this problem is linked to underdeveloped agriculture and processing.

The high rate of urbanization has forced the population of large cities to switch to industrial methods of food supply. Such methods require various measures aimed at significantly extending the shelf life of food. This constantly leads to a decrease in the nutritional value of foodstuffs. As the population continues to grow, these challenges will have an increasing impact on the global food distribution system, creating imbalances

between regions with varying levels of economic development.

There are various ways to address the above challenges: agricultural development, improved food supply chains, sustainable production and consumption. An important factor in ensuring food security is the development of methods to increase the shelf life of food products without significantly reducing their quality. Such methods for extending shelf life include the use of antimicrobial packaging. Antimicrobial packaging is made by modifying traditional packaging to provide protection against the growth of pathogens during food storage.

Nanoparticles are often used in the food industry to create antibacterial films [1, 2]. Research is currently under way to develop antimicrobial packaging materials derived from various nanoparticles, including CuO [3-5]. Nanopackets can be applied to food products by wrapping, grinding, brushing or spraying to provide a selective barrier against the movement of gases, moisture and dissolved materials, as well as protection against mechanical damage [6, 7]. The main development is aimed at obtaining nanoparticles with subsequent surface treatment of finished packaging materials. According to Kamran Tahir, Dipranjan Laha, Arindam Pramanik, the activity of nanoparticles depends on the shape and their dispersion. The stabilization of nanoparticles is an important aspect in the design of food packaging with nanocomposites. The bactericidal activity and migration of nanoparticles into the product depends on the method of synthesis [8] and determines the stability of nanoparticles in the polymer composition of packaging materials. With high stability, migration of CuO nanoparticles into the product will be eliminated, which guarantees no toxicity of the packaging material. The safety of food products during their long-term storage is influenced by a wide range of factors: adverse influence of the external environment, processes of natural corruption due to natural biochemical and chemical reactions, development of microorganisms. Microbiological damage is one of the most significant factors affecting the preservation of the quality of foodstuffs, both of plant and animal origin.

Microbiological stability can be achieved in various ways: by adding preservatives to the product, using special storage technologies, use of special packaging, etc. Often many methods of preventing microbiological damage are associated with the influence on the biochemical processes of the life of living organisms. Along with the effects on microorganisms, these methods can have a significant effect on a person whose body functions according to similar biochemical patterns. Thus, the use of preservatives reduces the quality of the product, use of special technologies can also

lead to a significant loss of nutritional value and significantly increase the cost of products. One of the most promising directions to increase the shelf life of foodstuffs is the use of special packaging materials that can protect the product from negative environmental factors, as well as reduce the rate of microbiological damage.

The aim of this work is to development of a method for the synthesis of CuO nanoparticles stabilised with gelatin and pectin, to study the possibility of their using in food packaging to protect against microbiological spoilage and increase the storage life.

Materials and methods. *CuO Nanoparticles Synthesis Method.*

Reagents: Copper (II) 2-water chloride (Sigma-Aldrich Pty Ltd, Merck KGaA branch, Darmstadt, Germany), gelatin (Segma-Aldrich Pty Ltd, merck KGAA subsidiary, DARMSTAD, Germany); sodium hydroxide (Shandong Zhoushun International Trade Co., Ltd); ascorbic acid-L (SIGMA-ALDRICH PTY Ltd, MERCK KGA A branch, darmstad, Germany) and pectin (Jiaxing Renze Import & Export Co., Ltd.).

CuO nanoparticles, stabilized with gelatin and pectin, were polluted by direct chemical sedimentation. Copper chloride was used as a precursor to CuO nanoparticles (II). Pectin and gelatin acted as a stabilizer, as a restorative used ascorbic acid, sodium hydroxide - as a sediment. Distilled water was used as a reaction medium.

CuO nanoparticles stabilized with gelatin and pectin were obtained by the following procedure: 0.03 g of precursor (copper chloride), 0.03 g of gelatine and 0.1 g of ascarbic acid, dissolved in 90 ml of reaction medium (distilled water), a similar procedure was performed with pectine. The resulting solution was heated to boil with constant mixing and an additional 0.5% solution of NaOH was added to pH-10. The sample was mixed for 2-3 minutes, cooled to room temperature, mixed at room temperature for 20 minutes. As a result, copper oxide nanoparticles were produced. The phase of obtaining nanoparticles is an important component of the work on the creation of nanocomposite

packaging materials, because it is the nanoparticle that gives the newly obtained packaging unique properties.

For the preparation of packaging material modified by CuO nanoparticles, polylactic film was used, which is often used in the production of eco-packages. As a test sample, ordinary polylactic film from ECO Products Group (Astana) was taken.

As part of the development of nanoparticles preparations - visual evaluation, microphotography of samples of CuO nanoparticles and data on the elemental composition were obtained with the scanning electron microscope INTEGRA TERMA and integration of probe and optical microscopy and spectroscopy, ASM - Raman - SBOM - TERS [9]. The samples were dried for study. The samples were prepared as follows: a two-sided conductive carbon tape was glued to the standard toolboard. CuO powder was applied to the conductive carbon tape. They then applied a carbon coating about 10 nm thick. The pH was measured using the Testo 206 pH1 pH meter using a silver chloride combined electrode.

Microbiological analysis methods were used to study the antimicrobial effectiveness of polylactide films modified with CuO nanoparticles on bread shelf life.

The effects of polylactid films modified by CuO nanoparticles on the quality and shelf life of bread were studied.

For the experiment they took white wheat bread produced by "Aksai nan" (Almaty). The shelf life at the time of purchase was 3 days. In order to study the initial parameters of the bread on the day of beginning of the experiment, slices weighing 50 ± 0.2 g corresponding to the number of experimental films were cut.

The bread samples were stored in the SCTC TS-1/80 SPU thermostat at $25 \pm 1^\circ\text{C}$ for 120 ± 3 hours of the experiment. After the time passed, microbiological analysis was carried out. The analysis was carried out according to GOST 10444.12-2013 Microbiology of food and animal feed. Methods of detection and counting of yeast and mold mushrooms [10].

Results and discussion. The color of nanoparticles is an important qualitative characteristic, because it can characterize the size of particles and their chemical composition. The reason for the difference in colour of colloid nanoparticles solutions is different: the nature of the dispersion phase and the dispersion medium, particle dispersiveness, shape and structure. All these factors affect not only the absorption of light in the solution, but also its dispersion. Even a slight change in the color of the solution may indicate a change in particle size and chemical composition. Figure - 1 shows solutions of silver nanoparticles obtained by different methods and having different sizes.



Fig. 1 - Appearance of copper nanoparticles solutions

The optical spectrum of nanoparticles and nanomaterials solutions is no less important qualitative characteristic than the color of the solution. The method of optical spectroscopy is based on the measurement of particle absorption of the electromagnetic radiation of the optical range. Figure 2, 3, 4 shows the optical spectra for the colloidal solutions studied.

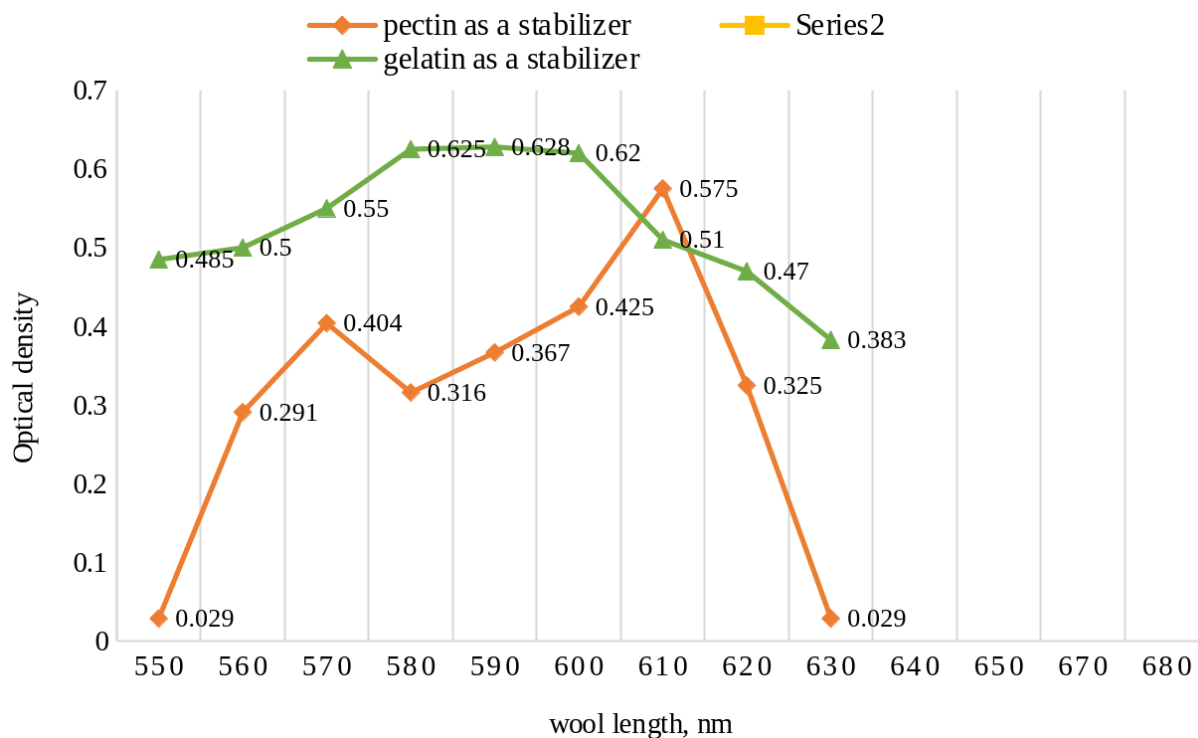


Fig. 2 - Graph of obtained data on spectroscopic photometer Jenway 6705

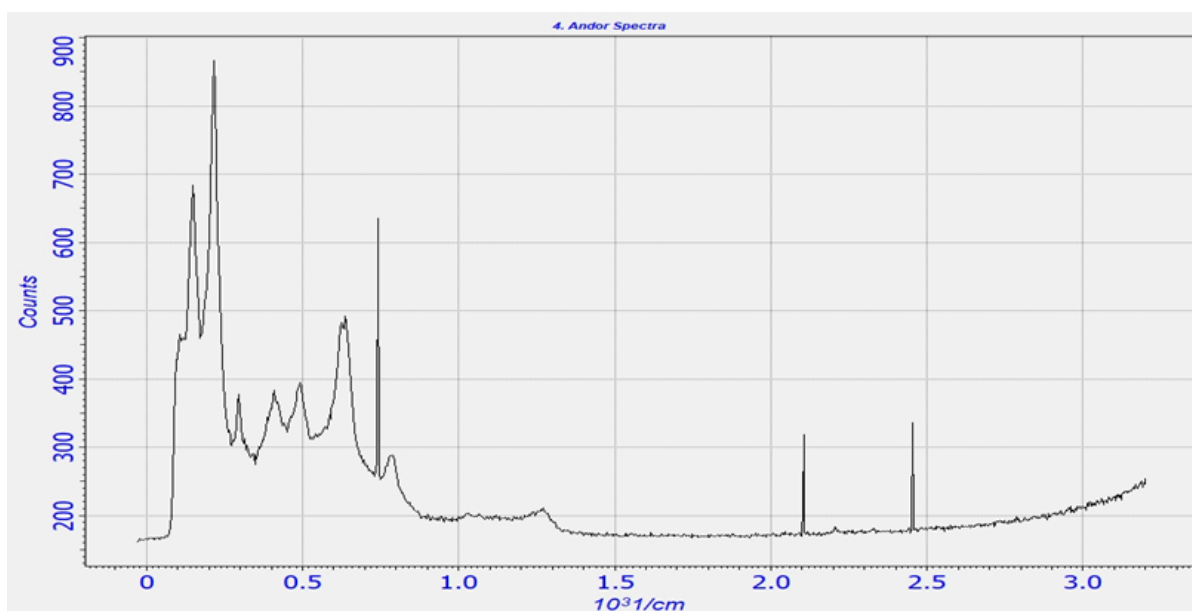


Fig. 3 - Optical spectrum of copper nanoparticles using gelatin as a stabilizer in exhaust solutions

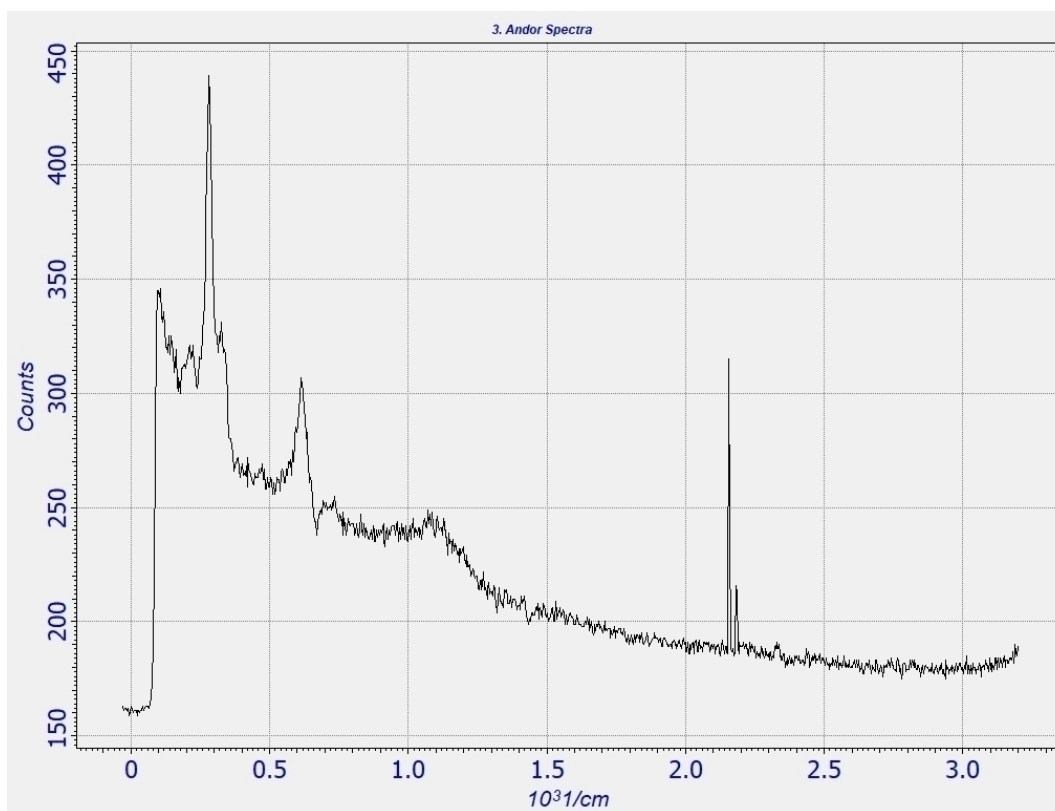


Fig. 4 - Optical spectrum of copper nanoparticles when pectin is used as a stabilizer in baseline solutions

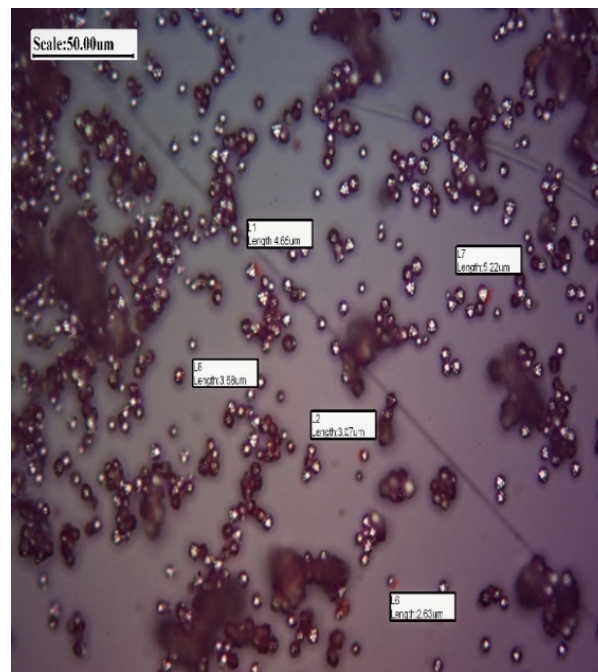
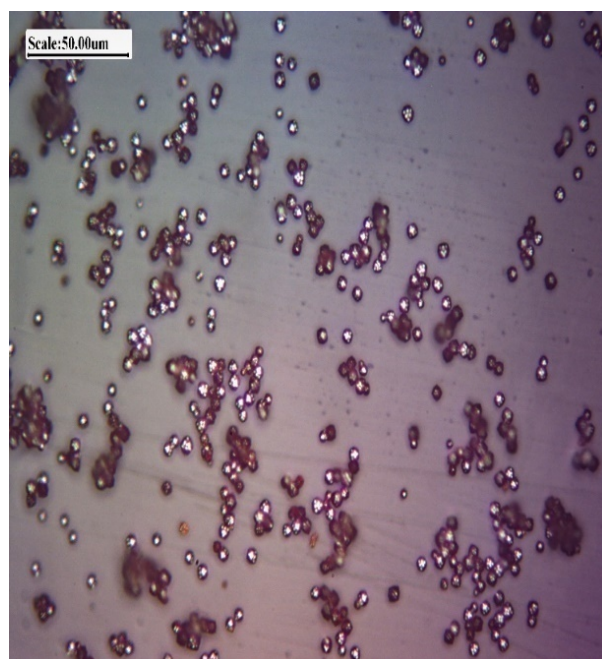


Fig. 5 - Optical imaging of copper nanoparticles in the 50 μm range

Dispersion phase particle size is one of the most important characteristics of colloidal solutions, determining their many properties. In particular, the stability of the solution and its biological properties

may depend on the size of the nanoparticles [11]. The samples showed nanoparticles with sizes ranging from 136 to 995 nm. When pectin was used as a stabiliser, and when gelatin was used as a stabiliser, the particle sizes ranged from 62 to 313 nm. Photos of samples made by optical and scanning electron microscope are shown in Figures 5 - 7.

Based on the results of scanning and transmission microscopy, nanoparticles as seen in Figure 7 have spherical shape like granules. Figure - 8 shows the surfaces of the films before and after treatment with copper nanoparticles. In the treated film the clusters of nanoparticles reached up to 500 nm in some places.

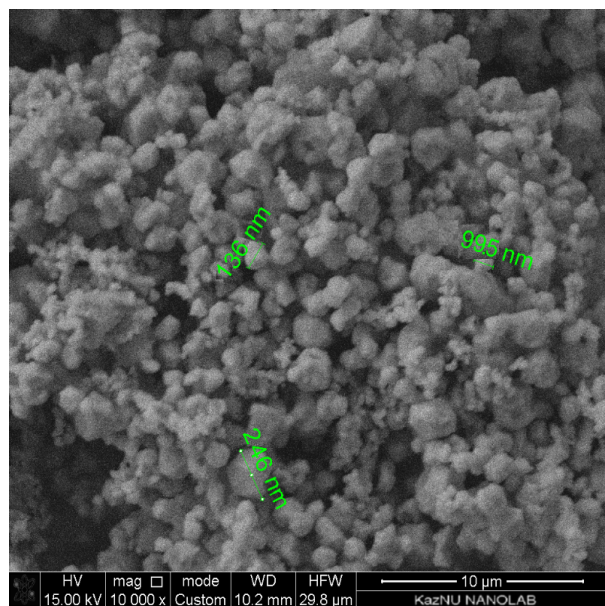


Fig. 6 - Dimensions of copper nanoparticles using pectin as a stabilizer

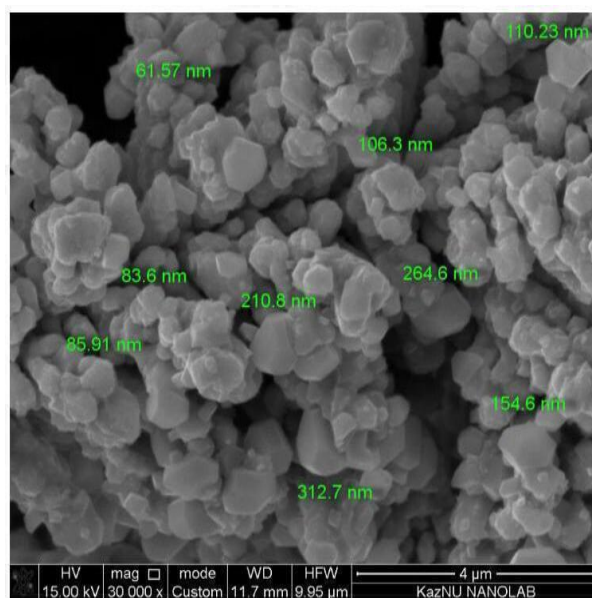


Fig. 7 - Dimensions of copper nanoparticles using gelatin as a stabilizer

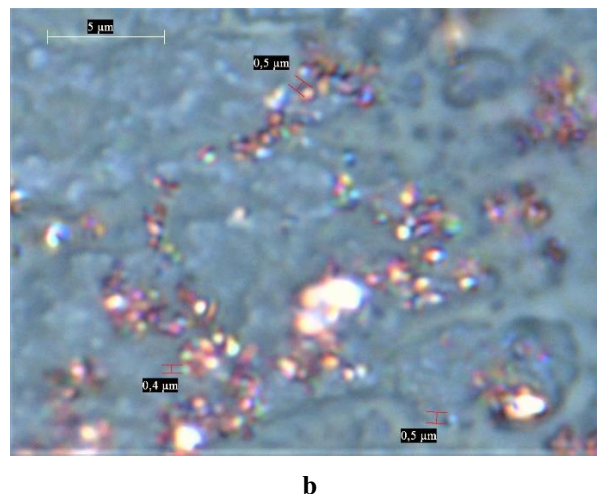
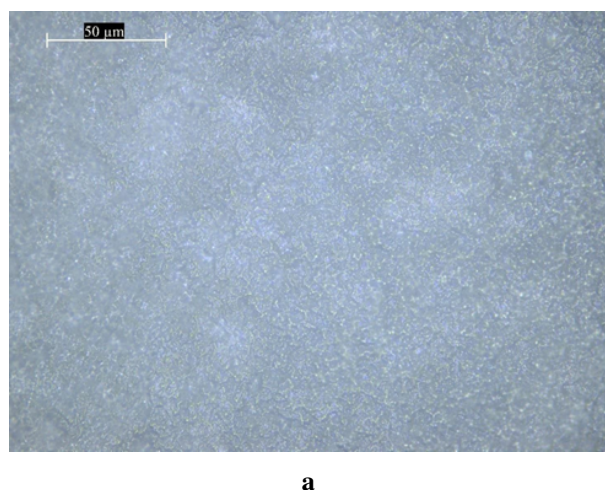


Fig. 8 - Polylactid film samples (a) before treatment and (b) after copper nanoparticles treatment

As a result of the study of the basic physico-chemical characteristics of nanoparticle solutions, it can be concluded that they differ strongly and as a

consequence different effects when they are used to create composite packaging materials. Evaluation of the effectiveness of the application of a product is

an important part of its development process. Since often not individual characteristics of a product are the reason for its purchase, but the ability of the product to solve a particular problem, it is important to determine the possibility of solving the problem. For nanopackaging, this problem is the extension of the shelf life of the products packaged in it. The benefits of use can be significant if such packaging is used as effectively as possible.

In order for the packaging to be used effectively, it is necessary to determine an extended shelf life compared to conventional packaging. It is known that the main cause of damage is the development of various microorganisms, so the use of packaging

with antimicrobial agents is relevant. The shelf life can be determined in different ways, depending on the type of product.

The method of microbiological testing is most appropriate if the cause of damage is mainly the development of microorganisms in the product. In this case, both the total number of microorganisms (COE) can be measured and differentiated depending on the type of micro-organism. The advantage of this method is the ability to identify the main source causing the damage of the product.

The effects of CuO-modified polylactid films on changes in the microbiological purity of bread storage are further studied in Table 1 and Figure 9.

Table 1 - Dynamics of changes in microbiological parameters of bread samples during storage

№	Sample	Mold index, CFU/g						
		1 day	2 day	3 day	4 day	5 day	6 day	7 day
1	Bread without packaging	-	-	1	3	5	8	17
2	Bread with a control package without processing	-	-	1	2	3	4	10
3	Bread with processed packaging (using gelatin as a stabilizer)	-	-	-	-	1	2	4
4	Bread with processed packaging (using pectin as a stabilizer)	-	-	-	-	1	2	5

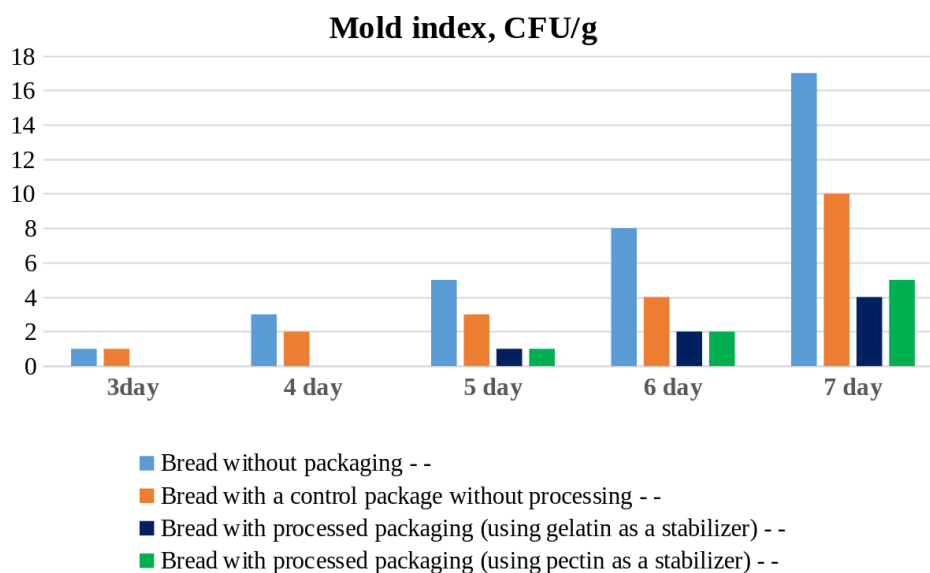


Fig. 9 - Effect of polylactide packages treated with copper nanoparticles on microbiological parameters

In accordance with the results presented in Table 1 and Figure 9, films modified with CuO nanoparticles were found to reduce mold growth and development in experimental bread samples compared to the control bread sample. The data obtained shows the activity of CuO nanoparticles stabilized with gelatin and pectin, and also coincides with the data of other authors [12, 13], who studied the antibacterial activity of CuO nanoparticles.

Conclusions. The problem of healthy and quality nutrition, along with the problem of adequacy of such nutrition is relevant for modern humanity. One way of addressing this problem, as discussed in this paper, is to keep products fresh and suitable for consumption for a considerable period of time. Fortunately, modern technologies allow to obtain and explore the latest materials that can be used to solve the above-mentioned problems. As a result of the studies carried out and presented in this paper, the following conclusions can be drawn:

1. A method of synthesis of CuO nanoparticles stabilized with gelatin and pectin has been developed, their colloidal stability in various dispersion media has been studied and their possibility of use in bread packaging has been explored.

2. The results showed that the use of copper chloride as a precursor allows to produce copper oxide (II). According to the data, copper oxide

nanoparticles stabilized by gelatin and pectin in the aquatic environment had particles of the smallest diameter of 62 nm.

3. It has been found that CuO nanoparticles, stabilized with gelatin and pectin, have antimicrobial activity and can be used as a material for food nanopackets, providing an increase in the shelf life of products, as shown in the example of bread. The high level of stability of CuO nanoparticles stabilized with gelatin and pectin will also facilitate their use in the creation of active food packaging materials.

4. It was found that polylactic films modified by CuO nanoparticles inhibited mold growth and development in experimental bread samples.

5. The morphology of the surface is studied by electronic microscopy. The result showed that when using gelatin as a stabilizer, the maximum copper nanoparticles size was 313 nm, and when using pectin, the particle size was 246 nm.

Thus, the results of experiments show that CuO nanoparticles, stabilized with gelatin and pectin, have a high potential for use in food packaging - both as a self-propelled nanofilm and as part of other packaging materials, and can also be laid as a basis for food interaction studies, the environment and be useful for developers engaged in the creation of promising packaging material.

References

1. Osovskaya I.I., Baranova A.E. Rastvory agara dlja uluchsheniya kachestva upakovochnyh bumazhnyh materialov, tekstil'nyh i kozhanyh izdelij. // *Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*, №5 (407) 2023, pp 129-132. DOI 10.47367/0021-3497_2023_5_129.
2. Baranchikov A.E. Sonohimicheskij sintez neorganicheskikh materialov./ A.E. Baranchikov, V.K. Ivanov, Ju.D. Tret'jakov.// *Uspehi himii*, 76, 147 (2007).
3. Galiahmetov R.N. Poluchenie nanochastic Cu₂O v usloviyah ul'trazvukovoj kavitacii./ R.N. Galiahmetov, A.G. Mustafin, R.R. Garafutdinov, G.M. Kuznecova.// *Pis'ma o materialah* T.1. 2011. str 176-178.
4. Abdullah, A.S., Essa, F.A., Bacha, H.B. & Omara, Z.M. Improving the trays solar still performance using reflectors and phase change material with nanoparticles // *J Energy Storage* 31, 101744. 2020. DOI 10.1016/j.est.2020.101744
5. Magonov, S., Belikov, S., Surtchev, M., Leesment S., Malovichko I. High-Resolution Mapping of Quantitative Elastic Modulus of Polymers // *Microscopy and Microanalysis*. 2015. Vol. 21 (S. 3). P. 2183-2184. DOI

10.1017/S1431927615011691.

6. GOST 10444.12-2013 Mikrobiologiya pishchevykh produktov i kormov dlya zhivotnykh. Metody vyyavleniya i podscheta kolichestva drozhzhey i plesnevnykh gribov. - Moskva: Standartinform, 2014. - 9 s. [in Russian]
7. Gvozdenko, A.A., Siddiqui, S.A., Blinov, A.V. et al. Synthesis of CuO nanoparticles stabilized with gelatin for potential use in food packaging applications // Sci Rep. 2022. Vol 12. DOI 10.1038/s41598-022-16878-w.
8. Singh, P.K., Das, A.K., Hatui, G. & Nayak, G.C. Shape controlled green synthesis of CuO nanoparticles through ultrasonic assisted electrochemical discharge process and its application for supercapacitor // Mater. Chem. Phys. -2017. -P. 16-34 DOI: 10.1016/j.matchemphys.2017.04.070.
9. Jana, R. et al. Improving performance of device made up of CuO nanoparticles synthesized by hydrothermal over the reflux method // Applied Surface Science. 2018. Vol. 452. P. 155-164. DOI:10.1016/j.apsusc.2018.04.262.
10. Pelegrino, M.T. et al. Effects of copper oxide nanoparticles on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L) seedlings and possible implications of nitric oxide in their antioxidative defense // Environ. Monit. Assess. 2020. Vol. 192. -P. 232-246. DOI: 10.1007/s10661-020-8188-3.
11. Pestovsky, Y. S. & Martínez-Antonio, A. The use of nanoparticles and nanoformulations in agriculture // J. Nanosci. Nanotechnol. -2017. Vol. 17. P. 8699-8730 DOI: 10.1166/jnn.2017.15041.
12. Mousa, A. M. et al. Biosynthetic new composite material containing CuO nanoparticles produced by *Aspergillus terreus* for ⁴⁷Sc separation of cancer theranostics application from irradiated Ca target // Appl. Radiat. Isot. 2020. Vol. 166, DOI: 10.1016/j.apradiso.2020.109389.
13. Abdullah, A. S., Essa, F. A., Bacha, H. B. & Omara, Z. M. Improving the trays solar still performance using reflectors and phase change material with nanoparticles // Journal Energy Storage. 2020. Vol. 31. DOI: 10.1016/j.est.2020.101744.

Information about the authors

Samadun A.I. - PhD student, Department of Chemistry, Chemical Technology and Ecology, Almaty University of Technology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: abdu.93_93@mail.ru;

Taussarova B.R. - Professor of the Department of Chemistry, Chemical Technology and Ecology, D.H.N., Almaty University of Technology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: birtausarova@mail.ru;

Nabiyeva Zh. S. - Director of the Scientific Research Institute of Food Safety, PhD, Almaty University of Technology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: atu_nabiyeva@mail.ru;

Daribayeva G.T. - Head of the Food Safety Test Laboratory, PhD, Almaty University of Technology, Almaty, Kazakhstan, e-mail: daribaeva.80@mail.ru

Сведения об авторах

Самадун А.И.- докторант кафедры «Химии, химической технологии и экологии» Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: abdu.93_93@mail.ru;

Таусарова Б.Р.-профессор кафедры «Химия, химическая технология и экология», д.х.н., Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: birtausarova@mail.ru;

Набиева Ж.С. - Директор Научно-исследовательского института пищевой безопасности, доктор PhD, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: atu_nabiyeva@mail.ru;

Дарибаева Г.Т.- заведующая испытательной лабораторией «Пищевая безопасность», доктор PhD, Ал-

матинский технологический университет, Алматы, Казахстан,
e-mail: daribaeva.80@mail.ru

ТӨМЕНГІ ҚЫСЫМДАҒЫ КӨМІРСУТЕКТЕРДІҢ ЭЛЕКТР ӨРІСІНДЕ ЖАНУЫН ЗЕРТТЕУ

Т.Т.Машан

Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

✉ Корреспондент-автор: togzhan-mashan@mail.ru

Бензол буының атомдық қатынасы $C/O = 1,0$ болатын оттегі ортасында жүйесіндегі $P = 40$ Торр қысымда, көлемі 10% аргон қосылғанда жануы кезінде күйе түзілу процесіне, күйе бөлшектерінің шығымы мен құрылымына және фуллерен шығымына $U = 0,5...20$ кВ кернеу диапазонындағы әртүрлі полярлы электр өрісінің әсері зерттелді. Алынған нәтижелерді талдау белгілі бір жағдайларда сыртқы электр өрісінің әсері электр өрісін қолданбаған шығымдылықпен салыстырғанда күйе шығымын (10% -ға дейін) арттыруы мүмкін екенін көрсетті. Күйе бөлшектері $U \geq 20$ кВ кернеуде теріс полярлық үшін тепе-тендік аймағында дислокациямен қалыпты таралу заңымен көбірек сипатталатыны анықталды. Электр өрісі, жалпы алғанда, өріс әсерінен алынған бөлшектердің орташа өлшемімен салыстырғанда, күйе бөлшектерінің орташа мөлшерінің ұлғаюына ықпал етеді. Кернеу өзгерген кезде күйе пакетінің L_a диаметрінің ұзындығы оның L_c биіктігінен жоғарырақ өзгередіні анықталды. ИК-спектроскопия көмегімен күйе сығындыларында C_{60} , C_{70} фуллерендер және ПЦАК анықталды. Аномальды жарқырау разряды аймағында жалынға электр өрісі әсер еткенде фуллерендер шығымы айтарлықтай арта бастайтыны анықталды ($\alpha \geq 13\%$). Күйе үлгілерінің құрғақ сығындыларының рентгендік фотограммасын талдау C_{60} және C_{70} фуллерендеріне тән шындықтың болуын көрсетті. Шындар фуллерендердің келесі кристалдық фазаларына сәйкес келеді: орторомбты, кубтық және алтыбұрышты (C_{70} тек алтыбұрышты).

Түйін сөздер: күйе түзілу, фуллерен, экстракция, электр өрісі, төмен температура, ПЦАК.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ НИЗКОМ ДАВЛЕНИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Т.Т. Машан

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

e-mail: togzhan-mashan@mail.ru

Исследовано влияние постоянного электрического поля различной полярности на процесс сажеобразования, выход и структуру сажевых частиц, на выход фуллеренов в диапазоне напряжений $U=0,5...20$ кВ при сжигании паров бензола в среде кислорода при атомном соотношении $C/O=1,0$ с добавлением 10% аргона по объему, при давлении в системе $P=40$ Торр. Анализ полученных результатов показал, что воздействие внешнего электрического поля при определенных условиях может увеличить выход сажи (до 10%) по сравнению с выходом без применения электрического поля. Установлено, что для частиц сажи наиболее характерен нормальный закон распределения с дислокацией в зоне равновесия для отрицательной полярности при напряжении $U \geq 20$ кВ. Электрическое поле, в целом, способствует росту среднего размера частиц сажи по сравнению со средним размером частиц, полученных без воздействия поля. Установлено, что длина диаметра сажевого пакета L_a подвержена большему изменению в сторону увеличения, чем его высота L_c , при изменении напряжения. Методом ИК-спектроскопии в экстрактах сажи идентифицированы фуллерены C_{60} , C_{70} и

ПЦАУ. Установлено, что выход фуллеренов значительно начинает расти ($\alpha \geq 13\%$) при наложении на пламя электрического поля в области аномального тлеющего разряда. Анализ рентгеновской фотографии сухих экстрактов образцов сажи показал наличие пиков, характерных для фуллеренов C_{60} и C_{70} . Пики соответствуют следующим кристаллическим фазам фуллеренов: орторомбической, кубической и гексагональной (C_{70} только гексагональная).

Ключевые слова: сажеобразование, фуллерен, экстракция, электрическое поле, низкая температура, ПЦАУ.

STUDY OF HYDROCARBON COMBUSTION AT LOW PRESSURE IN AN ELECTRIC FIELD

T.T. Mashan

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

e-mail: togzhan-mashan@mail.ru

Influence of a constant electric field of different polarity on sootformation process, yield and structure of soot particles, on yield of fullerenes in a range of pressure $U=0.5 \dots 20$ kV at burning of benzene vapours in the environment of oxygen at atomic ratio $C/O=1.0$ with addition of 10 % of argon on volume, at pressure in system $P=40$ Torr is investigated. The analysis of obtained results has shown, that influence of external electric field under certain conditions can increase yield of soot (up to 10 %) in comparison with yield without applying electric field. It is found that for soot particles most typical the normal law of distribution with dislocation in the zone of equilibrium for negative polarity at pressure $U \geq 20$ kV. The electric field, as a whole, promotes growth of the average size soot particles in comparison with the average size of particles received without field influence. It is established, that the length of diameter soot package L_a is subject to greater change aside increases, than its height L_c , at voltage change. Fullerenes C_{60} , C_{70} and PAH are identified in extracts of soot by the method of IR-spectroscopy. It is established, that yield of fullerenes significantly starts to grow ($\alpha \geq 13\%$) at applying on flame of electric field in the abnormal glow discharge area. The analysis of X-ray photogram of soot samples dry extracts showed presence of peaks, characteristic for fullerenes C_{60} and C_{70} . Peaks correspond to following crystal phases of fullerenes: orthorhombic, cubic and hexagonal (C_{70} only hexagonal).

Keywords: Sootformation, fullerenes, extraction, electrical field, low pressure, PAH.

Кіріспе. Күйенің ауылшаруашылығының көптеген салаларында кеңінен пайдаланылуына байланысты күйе түзілу мәселелері қазіргі заманда маңыздылыққа ие болып отыр. Қоршаған орта жағдайларында жоғары тұрақтылық пен ұзақ сақталуға қабылеттілігімен ерекшеленетін күйе бөлшектері, сонымен қатар, полициклды ароматты көмірсутектер (ПЦАК) де атмосфераны ластайтын көмірсутек майларын жағу өнімдерінің компоненттері болып табылатындықтан, экология мәселесі де шиеленісе түсуде. Күйе мен канцерогенді полициклды ароматты көмірсутектердің шығымын төмендету үшін қажетті шараларды енгізу, олардың түзілу процесстерін тереңдете

зерттеуді талап етеді.

Жану процесі оң және теріс зарядты иондардың, сондай-ақ, электрондардың пайда болуымен көрінетін физикалық әсерлермен бірге жүреді [1]. Күйе жалындарының құрылымын зерттеу күйе пайда болғанға дейін және оның пайда болу кезінде болатын химиялық және физикалық процестер туралы құнды мәліметтер береді, атап айтқанда, қоршаған ортаны бензин мен дизельді қозғалтқыштардың толық жанбаған өнімдерінен қорғау мәселесіне байланысты қызығушылық туырады.

Күйе түзілуін зерттеудің тағы бір маңызды аспектісі - электр өрісінің жалын құрылымына

әсері. Жану процестеріне электр өрісінің әсерін зерттеу нәтижесінде төмен кернеулі электр өрісін қолдану жану кинетикасына айтарлықтай әсер ететіні анықталды және көмірсутекті жалындардағы күйе түзілу процесі көбінесе жалындағы оң зарядталған күйе бөлшегімен анықталатыны көрсетілді [2, 3].

Сыртқы электр өрісінің қолданылуы жалында болатын барлық процестерге: күйе бөлшектерінің пайда болу процесіне, олардың өсуіне, сонымен қатар, шөгуіне әсер ететіні белгілі. Күйе бөлшектерінің пайда болуы процесіне келетін болсақ, иондық теория бар, оған сәйкес $C_nH_n^+$ типті иондар күйе бөлшектерінің өсуінің белсенді орталықтары болып табылады [4]. Бөлшектердің мөлшері мен массасы жану аймағында болу уақытымен анықталады және оны электр өрісін қолдану арқылы өзгертуге болады, өйткені барлық бөлшектер процестің ең ерте кезеңдерінде зарядтанады.

Атмосфералық қысымда метанның оттегі жалынындағы күйе бөлшектерінің мөлшеріне және шығым процесіне 0,1-ден 2,2 кВ-қа дейінгі диапазондағы тұрақты электр өрісінің әсерін анықтау бойынша зерттеулер жүргізілді [5]. Полярлығына тәуелсіз электр өрісін қолданғанда, күйе бөлшектерінің массалық шығымы азайып, олардың мөлшері кішірейіп, күйе бөлшектерінің құрамы біртекті болатыны анықталды.

Электр өрісінің беттік жануға әсері [6] сипатталған. Тәжірибелерде табиғи газ бен ауаның жанғыш қоспасы қолданылған. Қоспаның жануы матрицаның бетінен жоғары аймақта жүреді. Тәжірибелерде қызықты әсер анықталған. Электродқа жоғары оң потенциалды қолданғанда, электрод астындағы аймақта беттік жанудың «бұғатталуы» байқалады. Жарық матрицада қара дақ пайда болады. Кернеу азайған сайын қараңғы аймақтың көлемі кішірейеді. Беттік жануды «бұғаттау» әсері екі себепке байланысты болуы мүмкін: жалын шебінің беттік аймақтан жойылуы немесе иондық желдің қарсы қысымы әсерінен ағынға жергілікті газ-динамикалық кедергінің жоғарылауы салдарынан жергілікті жану қуатының төмендеуі.

Тұрақты және импульстік-периодты электр

өрісінің пропан-ауа қоспасының жануына әсері [7] жұмыста зерттелген. Тәжірибе көрсеткендей, кернеу берілгенде иондық желдің пайда болуынан жалын пішіні өзгереді. Ламинарлық жану режимінде тұрақты кернеу 3,4 кВ-қа өзгергенде жалынның таралу жылдамдығы шамамен 20%-ға артады. Турбулентті режим үшін бұл жылдамдық шамамен 30%-ға артады. Айнымалы кернеу электродына 1 кВ бергенде, 4 мс ұзақтықтағы импульстарды беру жиілігі 150 Гц-тен бастап өзгертсе жиіліктің артуы тұрақты өрісті қолданғандағыдай жалынның таралу жылдамдығының айтарлықтай артуына алып келді. Тәжірибелерде, сонымен қатар, ламинарлы режимнен турбулентті жану режиміне көшу кезінде жалынның тұрақтылығына тұрақты электр өрісінің әсері анықталды.

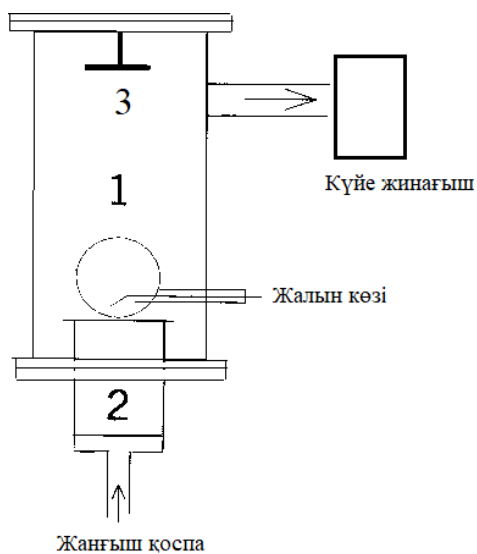
Көмірсутекті жалынға әсер ететін электр өрісі заряд тасымалдаушыларға электр денесінің күші әсерінен иондық жел тудырады. Иондық жел күйе шығаруға, жалынның таралу жылдамдығына және жалын тұрақтылығына әсер ететіні көрсетілген, бірақ иондық желдің егжей-тегжейлі әрекеті және оның жалынға әсері әлі анық емес. Екі параллель электродтың арасына орнатылған сопло арқылы өтетін араласпаған және алдын ала араластырылған жалындарға тұрақты және айнымалы электр өрістерін берген кездегі жалын мен иондық желдің динамикалық әрекеті зерттелген. Ион желі анодқа да, катодқа да қарай соғатыны тіркелген және жалын түріне (араластырылмаған немесе алдын ала араласқан) немесе электр өрісінің көзіне (тұрақты және айнымалы ток) тәуелді емес [8].

Маңызды технологиялық шикізат болғандықтан күйе өнеркәсіптік ауқымда әртүрлі тәсілдермен өндіріледі. Негізінен ~1700 К температурада сұйық және газ тәрізді көмірсутектерді жеткіліксіз оттеkte жағу, содан кейін ыдырау өнімдерін жылдам салқындату арқылы термиялық ыдырау әдісі қолданылады. Мұндай күйе материалы жеке тұйықталған бөлшектерден тұрады, мұнда диаметрі ондаған және жүздеген Å болатын сфералық глобулалар біріншілік болып табылады, олар бір-бірімен химиялық байланысып, сызықтық тармақталу тізбектері спиральдар, кластерлер және т.б. сияқты агрегаттарға бірік-

тіріліп, екінші реттік құрылым түзуге қабілетті [9].

Күйе түзілу механизмі туралы көптеген теориялар мен идеялар бар, күйе түзілу процесіне келесі аралық өнімдер қатысады: C, C₂, CH, C₂H, CH₂, C₃H₄, C₄H₃; полиацетилендер C₄H₂, C₆H₂, C₁₀H₂; полициклді ароматты көмірсутектер, сондай-ақ, 1,3-бутадиен немесе винилацетилен сияқты қосарланған байланыстары бар молекулалар [10, 11]. Көмірсутекті газдарды жағу кезінде көміртекті наноқұрылым – фуллерендер алу мүмкіндігі анықталған [12].

Бұл жұмыста төмен қысымда 0,5-тен 20 кВ-қа дейінгі кернеу диапазонындағы күйе бөлшектерінің құрылымы мен күйе түзілу процесіне электр өрісінің әсері зерттелген және түзілген күйе құрамында фуллерендердің болатыны дәлелденді.



1-сурет Төменгі қысымда күйе алу жандырғысының схемасы

Материалдар мен әдістер. Зерттеулер бензол буының оттегімен C/O = 1,0 атомдық қатынасында 10% аргонды қосу арқылы жануы 40 Торр қысымда жүргізілді.

Бензол сұйықтыққа арналған шприц тәріздес мөлшерлегіш арқылы 1 мл/мин мөлшерінде реакторға енгізілді, бұл көлемдік бу шығынының Q₁ = 250 см³/мин мөлшерін қамтамасыз етті. Оттегі мен аргон ΔP = 5 кгс/см² қысымда редукторлар

арқылы берілді және капиллярлық шығын өлшегіштермен бақыланды. Құрылғының схемасы 1-суретте көрсетілген.

Жанғыш қоспаны дайындау келесі реттілікпен өтті. Сұйық бензол мөлшерлегіш арқылы буландырғышқа енгізілді, алдын ала таңдалған температуралық режим оның бірден дерлік булануын қамтамасыз етті. Түзілген бензол булары буландырғышқа түсетін оттегі мен аргон молекулаларымен араласып, содан кейін қоспа сифон тәрізді буқыздырғыш буферлік ыдысқа түсті. Жақсы араластырылу үшін жанғыш қоспаны буферлік резервуарға ұшы дәнекерленген перфорацияланған түтік арқылы өткізді. Бу-газ жанғыш қоспасының соңғы дайындығы тікелей инертті материалдан жасалған шарлармен толтырылған жандырғыда аяқталды. Бензол буларының конденсациясын болдырмау үшін жанғыш қоспаны беру жолы қыздырылады. Буферлік ыдыста пайда болған бу-газ қоспасының P_{арг} = 13 кПа шегіндегі артық қысымы жанғыш қоспаның жандырғыға біркелкі берілуін қамтамасыз етеді. Цилиндрлік жандырғының перфорацияланған тұрақтандырғышынан жанғыш қоспаның шығу жылдамдығы V = 18,38 см/с болды. Осы жағдайда жалындағы максималды температура T = 1200 К және жалын шебі жандырғыдан δ = 0,5-0,8 см ажырайтын тұрақты жану туындады. Бір тәжірибенің ұзақтығы τ = 20 мин. Жану циклі аяқталғаннан кейін кварц реакторы мен күйе жинағыштың қабырғаларынан күйе жиналып, өлшеніп, электронды микроскопта және ДРОН -3М дифрактометрінде (Cu_α – сәулелену) зерттелді.

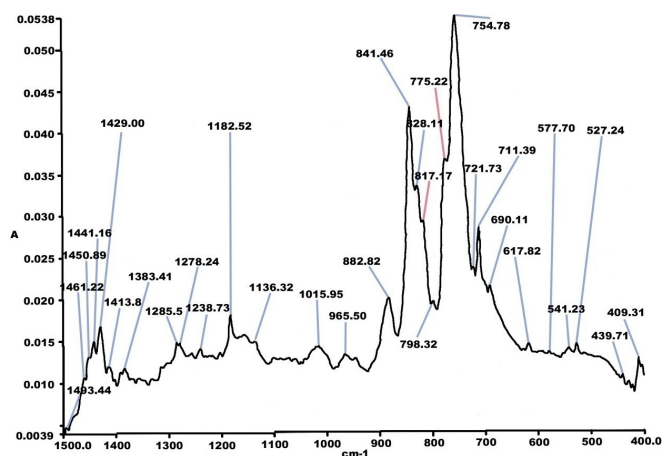
Электродтар арақашықтығы L = 18 см болатын ине-жазықтық электрод жүйесі кварц реакторында (1) орналастырылған. Жазық электрод - сумен салқындатылатын жандырғы (2). Ине тәрізді электродқа (3) оң немесе теріс полярлық 0,5-тен 20 кВ-қа дейінгі диапазондағы тұрақты жоғары вольтты кернеу берілді. Нәтижесінде жалын аймағын да, жану өнімдерінің аймағын да қамтитын бойлық электр өрісі пайда болды.

Электр өрісі қолданылған кезде электрондардан, оң және теріс иондардан тұратын кеңістік зарядын туындататын теріс немесе оң тәж разряды пайда болды. Кеңістіктік заряд жалын шебіне ор-

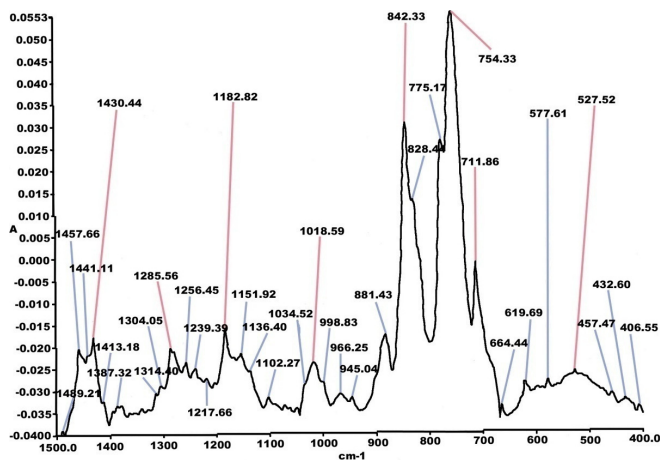
наластырылды және жану процесіне тікелей әсер етті.

Нәтижелер мен талқылау. Әртүрлі жағдайларда алынған күйе 72 сағат бойы бензолда суық экстракция әдісімен экстракцияланды. Сығынды қаныққан қою қызыл түске ие болды, ол ПЦАК пен фуллерендердің болуына сәйкес келеді. Содан кейін сығынды ИҚ-Фурье спектрометрі көмегімен талданды. Күйе сығындысы қабықшасының ИҚ жұтылу спектрі 3050 cm^{-1} -де жұтылу ароматты сақиналардың С-Н байланыстарына сәй-

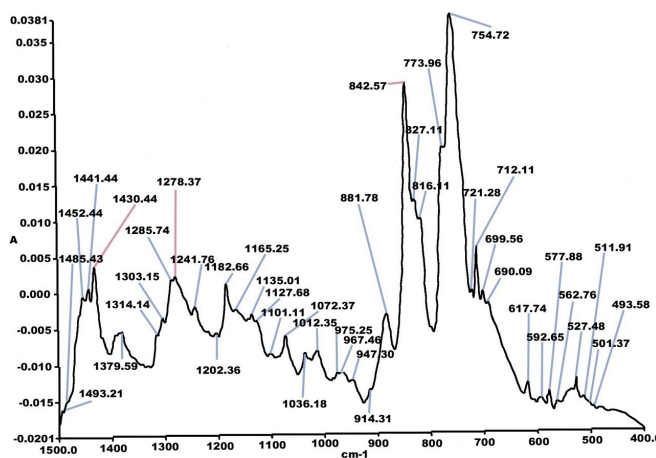
кес екенін көрсетті. $2960, 2870, 1470, 1390\text{ cm}^{-1}$ жұтылу жолақтары CH_2 және CH_3 функционалдық топтарындағы С-Н тербелістік байланыстарына сәйкес келеді. 1600 cm^{-1} спектрі ароматты сақинаның $\text{C}=\text{C}$ байланыстарына сәйкес келеді. Сондай-ақ, $\text{C}=\text{O}$ және $\text{C}-\text{C}$ байланыстарына сәйкес келетін жұту жолақтары бар. Спектрлерден фуллерендердің болатыны да байқалады. Электр өрісін беру арқылы алынған күйе сығындыларының спектрлері 2-суретте, а, б, в көрсетілген: а) $U=1\text{ кВ}$, б) $U=2,0\text{ кВ}$, в) $U=20,0\text{ кВ}$.



а) $U=1,0\text{ кВ}$



б) $U=2,0\text{ кВ}$



в) $U=20,0\text{ кВ}$

2-сурет. Күйе сығындыларының ИҚ спектрлері

1-кестеде ПЦАК және C_{60} және C_{70} фуллерендеріне сәйкес тәжірибелік жолмен алынған және

эталондық ИҚ спектрлері көрсетілген.

1-кесте. ПЦАК және фуллерендердің тәжірибелік және эталондық спектрлерін салыстыру

Фуллерендер	Тәжірибелік , λ см-1	Эталон, λ см-1
C60	528, 578, 1183, 1429	528, 577, 1183, 1429
C70	457, 538, 563, 578, 679, 798, 1136, 1414, 1430, 1460	458, 535, 565, 578, 642, 674, 795, 1134, 1414, 1430, 1460
ПЦАК		
Пирен	711, 755, 842, 1183	710, 750, 840, 1190
Флуорантен	618, 755, 775, 827	615, 750, 775, 825
Коронен	543, 842, 1314	545, 850, 1313
Антантрен	690, 775, 880	690, 762, 877
1,12-бензперилен	755, 775, 817, 842	645, 750, 765, 817, 845

Әртүрлі электр өрістерінде алынған күйе үлгілері үшін рентгендік дифракциялық сипаттамалары және күйенің массалық шығымы анықталды (2-кесте). Рентген сәулелерінің дифракциялық үлгілері бойынша үлгі бөлшектері түзілетін күйе пакетінің құрылымын сипаттайтын L_a , L_c , d_{002} когерентті шашырау аймағының мәндері есептелді. Мұндағы L_a – күйе пакетінің диаметрінің ұзындығы, L_c – биіктігі, d_{002} – күйе пакетіндегі екі қабат арасындағы қашықтық.

2-кесте. Электр өрісін қолданған кездегі рентген құрылымдық сипаттамалар және күйе шығымы

№	U, кВ	Өрістердің орналасуы	$L_a, \text{Å}$	$L_c, \text{Å}$	$d_{002}, \text{Å}$	$m_k, \text{г}$
1.	Өріссіз	-	38,13	9,42	3,71	0,5839
2.	0,5	±	31,64	8,16	3,71	0,4633
3.	1,1	±	65,71	10,0	3,71	0,4848
4.	2,05	±	65,7	11,41	3,71	0,5270
5.	3,05	±	57,5	11,86	3,70	0,3784
6.	10	±	57,5	11,86	3,70	0,3322
7.	20	±	57,5	11,4	3,87	0,3631
8.	0,5	±	52,33	8,66	3,71	0,4632
9.	1,1	±	52,07	9,58	3,69	0,6216
10.	2,05	±	65,7	12,71	3,70	0,4695
11.	3,05	±	49,73	13,09	3,65	0,3752
12.	10	±	49,73	12,0	3,78	0,3167
13.	20	±	40,0	9,67	3,70	0,4070

Кестеден көрініп тұрғандай, полярлықты өзгерту күйе бөлшектерінің шығымы мен мөлшеріне қатты әсер етеді.

Күйе үлгілерінің микроэлектрондық кескіндері алынды, 2-сурет. 0,5-тен 2 кВ-қа дейінгі электр өрісін қолданғанда, алынған күйе үлгілерінің өлшемдері 261 Å-ден 334 Å-ге дейін өзгерді.

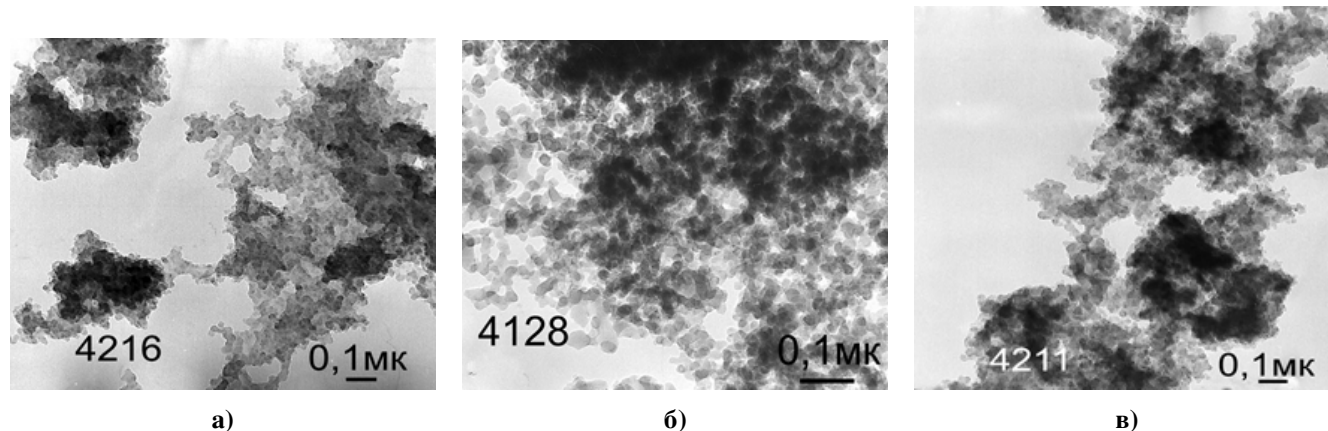
Бұл зерттеулерде қолданылатын электр

өрісінің полярлығына қарамастан электродаралық қашықтықтығы $L = 18$ см ине-жазықтық электродтарындағы тәж разряды (газ аралығының жартылай тесілуі) $U = 10$ кВ дейін сақталды. Кернеу $U = 10$ кВ және одан жоғары болған кезде, тәж разряды катод мен анодты қосатын жарқыраған, ирек жіңішке жіптің пайда болуымен солғын электр разрядына айналды. Бірақ жалын шебіне солғын электр разрядын қабат орналастырған кезде, жарқыраған жіп жалынға сіңіп,

электродқа (жандырғыға) жетпей қалды.

Электр өрісінің жалынға әсері теріс полярлық үшін $U \geq 1,35$ кВ бастап (жоғарғы ине-электродта минус) және оң полярлық үшін $U \geq 3,0$ кВ (жоғарғы ине-электродта плюс) визуалды түрде байқалды. Көзге көрінетін әсері жалынның сығылуымен, тербелісімен, созылуымен, жалпаюымен, қызғалдақ пішініне айналуымен және басқа да

құбылыстардан байқалды. Электр өрісі болмаған кезде жалын тұрақты, тербеліссіз жанып тұрды, $d = 2,5$ см, жарық аймағының биіктігі $h = 4,5$ см, жандырғыдан бөліну $\delta = 0,5$ см параметрлері бар цилиндр (жандырғы) пішініне ие болды. Электр өрісін, мысалы, $U = 10$ кВ кернеу қолданғанда, жалынның жоғарғы бөлігі толқын тәрізді тербелетін қызғалдақ тәріздес түрге ие болады.



3-сурет. Алынған күйе үлгілері: C/O=1, P=40 Торр, а) $U=0,5$ кВ, б) $U=1,0$ кВ, в) $U=2,0$ кВ.

Осы жұмыста жалынға әсері зерттелген электр өрісі кернеулерінің диапазонын тиімділігіне қарай шартты түрде екі аймаққа бөлуге болады: I аймақ - 0,5-тен 3,0 кВ-қа дейін; II аймақ – 3,0 кВ жоғары.

Бірінші аймақта, күйе шығымы бойынша оң немесе теріс полярлықтың «тиімділігі» айтарлықтай ерекшеленбейді және күйенің шығу процесі кейде сәтті, кейде сәтсіз өтті. Бұл жағдайда белгілі бір кернеудегі электр өрісін қолданғанда күйенің массалық шығымы өріс қолданбағандағы массалық шығымнан төмен болады. Бұл процесте электр өрісі жану процесіне каталитикалық әсер береді, сонымен қатар, электр өрісі көмірсутекті отынның ұзын тізбектерін үзетін күш болып табылады деген гипотезаға сәйкес келеді.

Алайда, бірінші аймақта электр өрісі кернеулерінің диапазоны эксперименталды түрде анықталды, оның аймағында күйе түзілудің жоғары көрсеткіші (шыңы) орын алды және күйенің массалық шығымдылығы (10% дейін) электр өрісінің әсерінсіз күйенің шығуынан асып кетті. Қайтала-

натын тәжірибелер келтірілген кернеудің полярлығына қарамастан $U = 1,0...1,35$ кВ кернеу диапазонында орналасқан жоғарыда келтірілген тәжірибелік жағдайларда шыңның болуын растады. Бірдей тәжірибелік жағдайларда күйенің массалық шығымының қайталану қателігі $\Delta = 1 \div 5$ % шегінде болды.

Сыртқы электр өрісін берген кезде белсенді орталықтарды пиролиз аймағынан алып кететін немесе ұстап қалатын күйе түзілу процесі мен электрлік күштер арасында бәсекелестік әрекеттесу пайда болады және бұл күйе түзілу кинетикасы үшін ең қолайлы жағдай деп болжауға болады.

Бұл жағдайда берілген кернеудің нәтижесінде күйе бөлшектерінің өсуіне алып келетін белсенді орталықтар болып табылатын оң $C_nH_n^+$ иондарының үлкен ағыны пиролиз аймағын кесіп өтеді. Берілген кернеудің белгілі бір шектік мәнінде иондар газ ағынының осьтік компонентасына қатысты қозғалыссыз деп саналады. Бұл жағдайда күйе бөлшектерінің түзілу жылдамдығы өріс

жоқ жағдаймен салыстырғанда бірнеше есе артады және пиролиз аймағында көзбен бақыланатын күйе бөлшектері пайда болады. Ұқсас нәтижелер теріс зарядтар ағынымен де (оң полярлық) алынды.

Берілген кернеулердің екінші аймағында ($U > 3$ кВ) полярлыққа қарамастан, $U = 3$ кВ кернеуіндегі күйе шығымымен салыстырғанда күйенің массалық шығымының біртіндеп артуы байқалды. Алайда, жалпы күйе шығымы электр өрісі болмаған жағдайдан төмен болып қала берді. Бұл кезде күйенің максималды шығымының шыңы байқалмады. Белсенді орталықтардың түзілуі физикалық және химиялық процестерге сәйкес келеді, сондықтан бұл аймақта күйе түзілудің мұндай әрекетінің себебі, мүмкін, қайта зарядталудың термоэлектрондық эмиссияға қарағанда басым болуынан және белсенді заттардың пиролиз аймағынан шығып кетуінен туындайды.

Қорытынды.

1. Зерттеулер көрсеткендей, күрделі құрамды жалынға сыртқы электр өрісінің әсері жалында болатын процестерді, сондай-ақ, күйе түзілу процесін бақылауға, сонымен қатар, белгілі бір жағдайларда күйенің шығымын арттыруға мүмкіндік береді.

2. ИҚ спектроскопиясының көмегімен күйеде фуллерендер C_{60} , C_{70} және полициклды ароматтық көмірсутектер анықталды.

3. C_{60} және C_{70} фуллерендеріне сәйкес келетін толқын ұзындықтары оң полярлықпен салыстырғанда теріс полярлықта айқынырақ анықталғаны көрсетілді. Бұл теріс полярлықтың фуллерендер шығымына оң полярлыққа қарағанда көбірек әсер ететінін растайды.

4. Спектрлердің интенсивтілігіне сүйене отырып, берілген кернеудің жоғарылауымен фуллерендердің шығымы жоғарылайтыны анықталды.

Әдебиеттер

1. Ильюшонок А.В., Гончаренко И.А., Лешенюк Н.С., Кулешов В.К., Терешенков В.И. О влиянии электрического поля на процесс горения. //Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2019. - Т.3(2) - С.127-137.
2. Степанов Е.М., Дьячков Б.Г. Ионизация в пламени и электрическое поле. - М.: Металлургия, 1968. - 312 с.
3. Лаутон Дж., Вайнберг Ф. Электрические аспекты горения. Пер. с англ. Под общ. ред В.А. Попова. - М.: Энергия, 1976. - 296 с.
4. Крестинин А.В., Кислов М.Б., Раевский А.В. и др. К вопросу о механизме образования сажевых частиц //Кинетика и катализ, 2000. - Т.41.(1). - С.102-111.
5. Mansurov Z.A., Merkulov A.A., Popov V.T., Tuleutaev B.K., Almazov N.S. Ultradispersed carbon black formation during methane combustion in electric field //Khimiya Tverdogo Topliva. 1994. – Vol. 3. - С. 83-86.
6. Шмелев В.М. О воздействии электрического поля на поверхностное горение//Химическая физика.- 2016. - Т.35(2).- С. 33-40.
7. Mansurov Z.A., Chenchyk D., Tuleutaev B.K., Mashan T.T. Soot formation in diffusion flames of acetylene-alkane//International Symposium on Combustion Abstracts of Works-in-Progress Posters. 2002. –P.184.
8. Park, D.G., Chung, S.H., Cha, M.S. Visualization of ionic wind in laminar jet flames. // Combustion and Flame.- 2017.- Vol.184. - P.246-248. DOI 10.1016/j.combustflame.2017.06.011.
9. Березкин В.И. Фуллерены как зародыши сажевых частиц. //Физика твердого тела, 2000. - № 42(3). - С.567-572.

10. Mansurov Z.A. Cool sooting flames of hydrocarbons. //Journal of Thermal Science.- 2001. - Vol. 10(3). -P.269-280. DOI 10.1007/s11630-001-0031-8
11. Машан Т.Т. Низкотемпературное сажеобразование при горении пропана / International Scientific and Practical Conference on "Current Problems of the Chemistry of Coordination Compounds". Bukhara, Uzbekistan. 22-23-december 2022. - P. 488-492.
12. Galeev I.G., Asadullin T.Y. Obtaining fullerene-containing soot during combustion of gaseous hydrocarbons in an external electric field. //Journal of Physics Conference Series. VII Conference on low temperature plasma in the processes of functional coating preparation. –2016.-Vol.669(1):012016. DOI 10.1088/1742-6596/669/1/012016

References

1. Il'jushonok A.V., Goncharenko I.A., Leshenjuk N.S., Kuleshov V.K., Tereshenkov V.I. O vlijanii jelektricheskogo polja na process gorenija. //Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashhity MChS Belarusi. 2019. - T.3(2) - S.127-137.[in Russ.]
- 2.Stepanov E.M., D'jachkov B.G. Ionizacija v plameni i jelektricheskoe pole. - M.: Metallurgija, 1968. - 312 s. [in Russ.]
- 3.Lauton Dzh., Vajnberg F. Jelektricheskie aspekty gorenija. Per. s angl. Pod obshh. red V.A. Popova. - M.: Jenergija, 1976. - 296 s.[in Russ.]
- 4.Krestinin A.V., Kislov M.B., Raevskij A.V. i dr. K voprosu o mehanizme obrazovaniya sazhevyyh chastic //Kinetika i kataliz, 2000. - T.41.(1). - S.102-111. [in Russ.]
5. Mansurov Z.A., Merkulov A.A., Popov V.T., Tuleutaev B.K., Almazov N.S. Ultradispersed carbon black formation during methane combustion in electric field //Khimiya Tverdogo Topliva. 1994. – Vol. 3. - С. 83-86.
6. Shmelev V.M. O vozdeystvii jelektricheskogo polja na poverhnostnoe gorenie//Himicheskaja fizika.- 2016. - T.35(2).- S. 33-40.[in Russ.]
7. Mansurov Z.A., Chenchyk D., Tuleutaev B.K., Mashan T.T. Soot formation in diffusion flames of acetylene-alkane//International Symposium on Combustion Abstracts of Works-in-Progress Posters.- 2002. -P.184.
8. Park, D.G., Chung, S.H., Cha, M.S. Visualization of ionic wind in laminar jet flames. // Combustion and Flame.- 2017.-Vol.184. - P.246-248. DOI 10.1016/j.combustflame.2017.06.011.
- 9.Berezkin V.I. Fullereny kak zarodyshi sazhevyyh chastic. //Fizika tverdogo tela, 2000. - №.42(3). - S.567-572
10. Mansurov Z.A. Cool sooting flames of hydrocarbons. //Journal of Thermal Science.- 2001. - Vol. 10(3). -P.269-280. DOI 10.1007/s11630-001-0031-8
11. Mashan T.T. Nizkotemperaturnoe sazheobrazovanie pri gorenii propana / International Scientific and Practical Conference on "Current Problems of the Chemistry of Coordination Compounds". Bukhara, Uzbekistan. 22-23-december 2022. - P. 488-492.[in Russ.]
12. Galeev I.G., Asadullin T.Y. Obtaining fullerene-containing soot during combustion of gaseous hydrocarbons in an external electric field. //Journal of Physics Conference Series. VII Conference on low temperature plasma in the processes of functional coating preparation. –2016.-Vol.669(1):012016. DOI 10.1088/1742-6596/669/1/012016

Авторлар туралы мәліметтер

Машан Т.Т.- химия ғылымдарының кандидаты, химия кафедрасының профессор м.а., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: togzhan-mashan@mail.ru

Information about the authors

Mashan T.T.- Candidate of Chemical Sciences, Acting Professor of the Department of Chemistry, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: togzhan-mashan@mail.ru

SEMI-EMPIRICAL INVESTIGATION OF ZINC(II) SALICYLATE. COMPARISON WITH X-RAY STRUCTURE**N. Akatyev**

M.Utemisov West Kazakhstan university, Uralsk, Kazakhstan,

✉Corresponding author: nikolay.akatyev@wku.edu.kz

Zinc salicylate dihydrate ($Zn(HSal)_2 \cdot 2H_2O$) is an organic-inorganic hybrid compound known for its wide range of applications. In this article, a detailed semiempirical study of zinc salicylate is presented, focusing on its structural, electronic, and thermodynamic properties. The PM3 method, known for its computational efficiency and reasonable accuracy, was used to model the molecular structure and compare with the experimentally obtained properties of $Zn(HSal)_2 \cdot 2H_2O$. Based on the obtained calculation results and available experimental data published in the literature, it was found that semi-empirical calculations involving the solvent effect (H_2O) agree well with data from X-ray diffraction analysis, while calculations for the gas phase do not agree with experimental data with the required accuracy. Quantum chemical descriptors such as HOMO-LUMO energies, energy gap (ΔE_{gap}), electronegativity (χ), global hardness (η), softness (σ), dipole moment (μ), electrophilic (ω) and nucleophilic (ϵ) indices were also calculated. The results show that the PM3 method effectively captures the essential features of zinc salicylate, including its geometry and electronic distribution. The obtained results also provide valuable insights into the semi-empirical modeling of organometallic compounds and highlight the usefulness of the PM3 method in predicting the behavior of complex molecular systems.

Keywords: PM3 calculations, zinc salicylate, semi-empirical calculations, quantum chemical descriptors.

МЫРЫШ(II) САЛИЦИЛАТЫН ЖАРТЫЛАЙ ЭМПИРИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ. РЕНТГЕН ҚҰРЫЛЫМЫМЕН САЛЫСТЫРУ**Н. Акатьев**

М.Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан,

e-mail: nikolay.akatyev@wku.edu.kz

Мырыш салицилат дигидраты ($Zn(HSal)_2 \cdot 2H_2O$), қолдану аясының кең ауқымымен танымал органикалық - бейорганикалық гибридті қосылыс. Бұл мақалада оның құрылымдық, электронды және термодинамикалық қасиеттеріне назар аударып отырып, мырыш салицилатының егжей-тегжейлі жартылай эмпирикалық зерттеуі ұсынылған. Молекулярлық құрылымды модельдеу және $Zn(HSal)_2 \cdot 2H_2O$ -ның тәжірибелік алынған қасиеттерімен салыстыру үшін өзінің есептеу тиімділігі мен ақылға қонымды дәлдігімен танымал PM3 әдісі қолданылды. Алынған есептеу нәтижелеріне және әдебиетте жарияланған қолда бар эксперименттік деректерге сүйене отырып, еріткіш әсерін (H_2O) қамтитын жартылай эмпирикалық есептеулер рентгендік дифракциялық талдау деректерімен жақсы сәйкес келеді, ал газ фазасы үшін есептеулер сәйкес келмейтіні анықталды. қажетті дәлдікпен эксперименттік деректермен. НОМО-LUMO энергиясы, энергетикалық алшақтық (ΔE_{gap}), электртерістілік (χ), ғаламдық қаттылық (η), жұмсақтық (σ), дипольдік момент (μ), электрофильдік (ω) және нуклеофильдік (ϵ) индекстері сияқты кванттық химиялық дескрипторлар да болды. есептелген. Нәтижелер PM3

әдісі мырыш салицилатының маңызды ерекшеліктерін, соның ішінде оның геометриясын және электрондық таралуын тиімді түрде түсіретінін көрсетеді. Алынған нәтижелер сонымен қатар металл-органикалық қосылыстардың жартылай эмпирикалық модельделуіне құнды түсініктер береді және күрделі молекулалық жүйелердің әрекетін болжауда РМЗ әдісінің пайдалылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: РМЗ есептеулері, мырыш салицилаты, жартылай эмпирикалық есептеулер, кванттық химиялық дескрипторлар.

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ САЛИЦИЛАТА ЦИНКА(II). СРАВНЕНИЕ С РЕНТГЕНОВСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Н. Акатьев

Западно-Казахстанский университет им.М.Утемисова, Уральск, Казахстан,

e-mail: nikolay.akatyev@wku.edu.kz

Дигидрат салицилата цинка ($Zn(HSal)_2 \cdot 2H_2O$)- гибридное органо-неорганическое соединение, известное своим широким спектром применения. В данной статье представлено подробное полуэмпирическое исследование салицилата цинка с упором на его структурные, электронные и термодинамические свойства. Для моделирования молекулярной структуры и сравнения с экспериментально полученными свойствами $Zn(HSal)_2 \cdot 2H_2O$ был использован метод РМЗ, известный своей вычислительной эффективностью и приемлемой точностью. На основании полученных расчётов и имеющихся экспериментальных данных, опубликованных в литературе, установлено, что полуэмпирические расчёты с учетом эффекта растворителя (H_2O) хорошо согласуются с данными рентгеноструктурного анализа, тогда как расчеты для газовой фазы не согласуются с экспериментальными данными с необходимой точностью. Были рассчитаны квантово-химические дескрипторы, такие как энергии ВЗМО-НВМО, энергетическая щель (ΔE_{gap}), электроотрицательность (χ), глобальная твердость (η), мягкость (σ), дипольный момент (μ), электрофильные (ω) и нуклеофильные (ϵ) индексы. Результаты показывают, что метод РМЗ эффективно отражает основные характеристики салицилата цинка, включая его геометрию и электронное распределение. Полученные результаты также дают ценную информацию о полуэмпирическом моделировании металлоорганических соединений и подчеркивают полезность метода РМЗ для прогнозирования поведения сложных молекулярных систем.

Ключевые слова: РМЗ расчёты, салицилат цинка, полуэмпирические расчёты, квантово - химические дескрипторы.

Introduction. Numerous branches of chemistry place significant theoretical and practical emphasis on the structure and characteristics of transition metal salicylates. These simple organic salts of salicylic acid (*o*-hydroxybenzoic acid) have a wide range of applications because of their beneficial qualities. Compounds with carboxyl groups are intriguing from the standpoint of coordination chemistry because they can bind to metal ions as mono-, bi-, and bridging ligands.

Over the last two decades, a wide range of transition metal complexes containing salicylate

and its various derivatives have been described. Das *et al.* reported a highly porous and thermally stable Co(II) salicylate metal-organic framework (MOF). Obtained material has very interesting magnetic properties, in which the magnetic moments increase with decreasing temperature [1]. A metal-containing ionic liquid (MCIL) has been also prepared in which the $[Co^{II}(Sal)_2]^{2-}$ anion is able to selectively coordinate two water molecules with a visible color change [2]. Chakraborty and Paine synthesized and structurally characterized four mononuclear cobalt-salicylate complexes

derived from N4-donor ligands. A hexameric water cluster is stabilized in the lattice of hydrated crystal complex [3]. A manganese complex with a salicylic acid residue was reported by Devereux *et al.* In the presence of imidazole, the complex powerfully catalyzes the disproportionation of hydrogen peroxide [4]. Square-planar bis(N,N-dimethylbiguanide)nickel(II) salicylate and hexakis(imidazole)nickel(II) disalicylate were also reported by Lemoine [5] and Jian [6] respectively. Copper salicylate is known as an anti-inflammatory agent [7].

Zinc is an essential trace element in the human body for activating (as a cofactor) more than 200 zinc-dependent metalloenzymes [8]. In addition, zinc is urgently needed for human health due to its critical role in growth, metabolism and wound healing [9,10]. It is the second most abundant micronutrient in the human body after iron [11]. Zinc also plays a central role in plant defense against pathogens and herbivores [12]. Nevertheless, overaccumulation of zinc leads to morphological, biochemical, and physiological disorders and can be toxic to flora, fauna and humans [13].

Zinc salicylate is interesting for its biological activity. It is known as a component of antifouling coatings and has been demonstrated by Bellotti and Romagnoli to be effective against *Artemia larvae* with lower toxicity than copper [14]. Fang compared the zinc salicylate-methylsulfonylmethane complex with zinc salicylate, sodium salicylate and zinc chloride in terms of the remodeling parameters of human airway smooth muscle cells (ASMC) [15]. In addition, zinc salicylate is described as a carbon source for templating porous carbons for supercapacitors [16]. Some other zinc salicylate-derived complexes have been studied by Brownless [17] and Chooset [18].

In contemporary theoretical science, the quantum chemical approach is used to extend on experimental investigations and to find appropriate theoretical parameters to describe or interpret the experimental results. On the other hand, computational methods make it possible to predict the variety of practically important properties of substances and complex systems based on electronic density, charge

distribution or other descriptors. Techniques based on density functional theory (DFT) have long been used to study the electronic structure of transition metal compounds. However, this approach is still extremely computationally intensive and may not be practical for many systems of interest [19]. Semi-empirical methods are much faster and therefore have great potential to produce acceptable results. Higher speed comes at the expense of the approximations made in evaluating the integrals describing the interactions between nuclei and some electron integrals of the electrons (considered negligible) are ignored while others are estimated from experiments [20]. In our research, we used the semi-empirical quantum chemical method PM3 to investigate the properties of the zinc (II) salicylate dihydrate $Zn(HSal)_2 \cdot 2H_2O$.

Materials and methods. Like other semi-empirical methods, PM3 is a self-consistent-field (SCF) method. All calculated integrals are evaluated using approximate values. Semiempirical calculations of transition metal complexes are orders of magnitude cheaper than their *ab initio* and most DFT counterparts and are extremely productive in the field of theoretical organic chemistry. However, the parameterization of these methods for transition metal systems is not trivial. Nevertheless, some attempts have been made to introduce *d*-orbitals into traditional semi-empirical methods. The PM3 method has a range of parameters for transition metals [21]. It is the most applicable semi-empirical method for calculating zinc compounds with Zn^{+2} . AM1 produces errors 30% larger than PM3. Owing to errors in its original parametrization, MNDO/d is not appropriate for use in computations [22].

All quantum chemical calculations were performed on a desktop PC with Windows 11, a 12th generation Intel(R) Core (TM) i7-12700H 2.30 GHz, 16GB RAM) with GAMESS software [23]. The programs Avogadro [24] and Jmol [25] were used to prepare the input file and visualize the results respectively. Initially, full geometry optimization was achieved using the Molecular Mechanics (MM+) force field in the gas phase. The results from MM+ were further selected as input and re-optimized using semi-empirical

PM3 [26] to obtain the equilibrium geometry with a root mean square (RMS) gradient of 0.001 kcal/Å·mol. This calculation method requires little computational effort and provides good agreement with the experiment. Semiempirical methods can be applied to calculations of much larger systems than classical *ab initio* or DFT methods, sometimes achieving accuracy comparable to more advanced levels of theory [27]. Method based on neglecting the integral approximation of differential diatomic overlap, representing an excellent compromise between completeness and economy. The molecular geometry was fully optimized using the analytical gradient method implemented in the program package without any limitations. The computational study was carried out in the gas and solution phases. Water was used to incorporate the solvent effect. To better approximate the experimental results in the solution phase, Tomasi's Polarized Continuum Model PCM was used.

The following quantum chemical indices, describing global reactivity were considered: the energy of the highest occupied molecular orbital (E_{HOMO}), the energy of the lowest unoccupied molecular orbital (E_{LUMO}), energy gap (ΔE_{gap}), the ionization potential (IP), the electron affinity

(EA), electronegativity (χ), global hardness (η), softness (σ), dipole moment (μ), electrophilic (ω) and nucleophilic (ε) indexes. They were calculated using formulas 1-8:

$$\Delta E_{gap} = E_{LUMO} - E_{HOMO} \quad (1)$$

$$IP = -E_{HOMO} \quad (2)$$

$$EA = E_{LUMO} \quad (3)$$

$$X = \frac{I + A}{2} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{I - A}{2} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{1}{\eta} \quad (6)$$

$$\omega = \frac{X^2}{2\eta} \quad (7)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\omega} \quad (8)$$

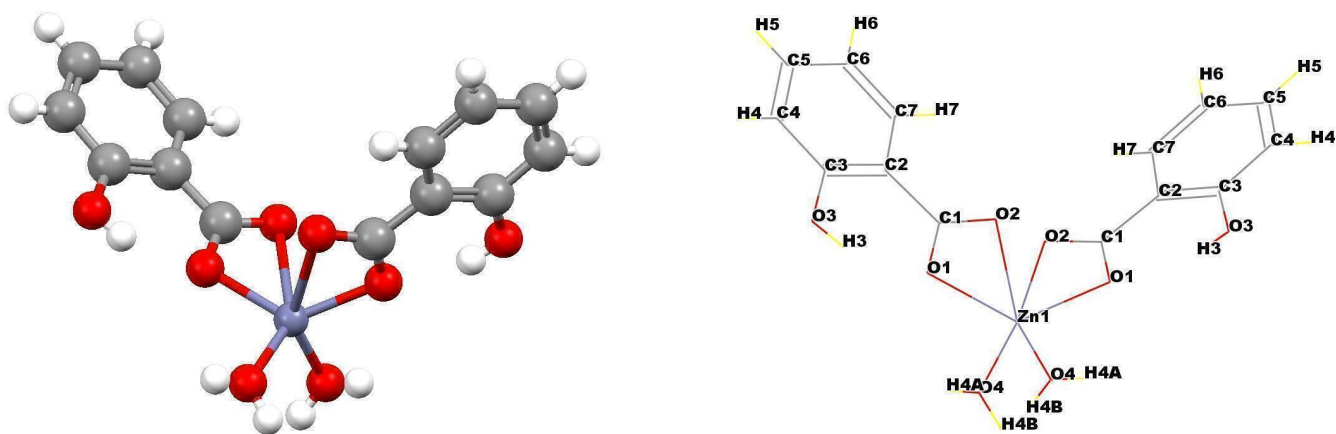


Figure 1 - Structural formula of the $Zn(HSal)_2 \cdot 2H_2O$ molecule obtained with X-ray diffraction by Gusev *et al.*

According to the Koopman's theorem, the HOMO energy is related to IP while the LUMO energy is related to EA (Eq. 2, 3). Electronegativity (χ) and global hardness (η) were evaluated

based on the finite difference approximation as linear combinations of the calculated IP and EA [28] (Eq. 4, 5). The global softness (σ) is the reciprocal of the global hardness [29] (Eq. 6).

The global electrophilicity index (ω) describes the stabilization of a molecule after the acquisition of an additional number of electrons (Eq. 7). The nucleophilicity index (ϵ) is the reciprocal of the global electrophilicity index (Eq. 8).

Results and discussion. The aim of this research is to study $\text{Zn}(\text{HSal})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ in the gas and aqueous phases from a structural and energetic perspective using quantum chemical descriptors calculated using the semi-empirical PM3 method. Another aim is to compare the calculated geometry with the available detailed X-ray structural data obtained by Gusev *et al* [30]. The molecular structure is close to $\text{Zn}(\text{HSal})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Figure 1). The substance belongs to the space group C_2 and the monoclinic crystal system.

The crystal structure of zinc (II) salicylate dihydrate was first described by Klug [31]. The thermal behavior of zinc salicylate and 5-chlorosalicylate complexes with bioactive ligands was studied by Chomič *et al* [32,33]. The stability constant of zinc (II) salicylate was determined by Singh [34].

Bond length. As part of our investigation, we first presented the PM3-optimized geometry parameters (bond length and angle) in the gas and aqueous phases in comparison to available X-ray analysis data. The calculated and experimental values of the bond lengths are listed in Table 1. The list of atoms corresponds to Figure 1.

A comparison of the calculated bond lengths of zinc salicylate with X-ray structural data shows that they agree well in the case of the aqueous phase. For example, the calculated length of the Zn1-O1 bond is 1.9897Å while the experimental value is 1.9928Å. These values lie within acceptable deviations. Bond length values calculated for the gas phase are less consistent with experimental results. In addition, the calculated bond lengths of the zinc salicylate molecule in the gas phase are slightly longer than in aqueous phase. An exception are the Zn(1)-O(4) coordination bonds and the O-H-bond in coordinated water molecules, whose lengths were significantly longer for the gas phase.

The lengths of the C=C bonds in the benzene ring are typical for aromatic compounds. The calculated length also agrees well with the reference data.

Bond angles. Experimental and calculated values of the bond angles are listed in Table 2.

A comparison of the results of the PM3 zinc salicylate bond angle calculations show the same trend as the results of the bond length calculations. The angle values obtained for the aqueous phase agree well with the X-ray diffraction results. The calculation for the gas phase shows a significantly lower correlation to experimental data. It can be clearly concluded that the best results for calculating the geometry of such molecules can be obtained for the solution phase. In this case, gas phase calculations are performed with significant errors.

Таблица 1 - Comparison between experimental X-ray and PM3 calculated bond lengths (Å) of $\text{Zn}(\text{HSal})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ for the gas and aqueous phases.

Atom 1	Atom 2	Bond length, Å		
		XRD data	Gas phase	Aqueous phase
Zn1	O1	1.9928	2.1156	1.9897
Zn1	O2	2.5679	2.3277	2.5815
Zn1	O4	1.9857	2.3194	2.0294
Zn1	O1	1.9928	2.1156	1.9897
Zn1	O2	2.5679	2.2659	2.5815
Zn1	O4	1.9857	2.3042	2.0294
O1	C1	1.2830	1.3328	1.2651
O2	C1	1.2533	1.2584	1.2312

Continued on next page

Atom 1	Atom 2	Bond length, Å		
		XRD data	Gas phase	Aqueous phase
O3	C3	1.3641	1.3760	1.3874
O3	H3	0.7692	0.9580	0.7716
O4	H4A	0.6499	0.9452	0.6498
O4	H4B	0.8521	0.9413	0.8136
C1	C2	1.4796	1.4894	1.4682
C7	H7	0.9306	1.1000	0.9077
C7	C2	1.4039	1.3953	1.4079
C7	C6	1.3806	1.3940	1.4053
C3	C2	1.4065	1.3394	1.3907
C3	C4	1.3874	1.4232	1.3667
C5	H5	0.9303	1.1108	0.9208
C5	C6	1.3964	1.3451	1.3966
C5	C4	1.3860	1.3396	1.3737
C6	H6	0.9305	1.0886	0.8965
C4	H4	0.9291	1.1186	0.8952
O1	C1	1.2830	1.3328	1.2651
O2	C1	1.2532	1.2584	1.2312
O3	C3	1.3641	1.3760	1.3874
O3	H3	0.7691	0.9580	0.7716
O4	H4A	0.6499	0.9452	0.6498
O4	H4B	0.8521	0.9413	0.8136
C1	C2	1.4796	1.4894	1.4682
C7	H7	0.9306	1.1000	0.9077
C7	C2	1.4039	1.3953	1.4079
C7	C6	1.3806	1.3940	1.4053
C3	C2	1.4065	1.3394	1.3907
C3	C4	1.3874	1.4232	1.3667
C5	H5	0.9303	1.1108	0.9208
C5	C6	1.3964	1.3451	1.3966
C5	C4	1.3861	1.3396	1.3737
C6	H6	0.9305	1.0886	0.8965
C4	H4	0.9292	1.1186	0.8952

Таблица 2 - Table 2 - Bond angle properties of Zn(HSal)₂·2H₂O obtained from XRD and calculated using the PM3 method.

Atom 1*	Atom 2*	Atom 3*	Bond angle (deg)		
			XRD data	Gas phase	Aqueous phase
O1	Zn1	O2	56.03	57.27	55.07
O1	Zn1	O4	120.11	112.40	119.68
O1	Zn1	O1	128.18	145.40	127.48
O1	Zn1	O2	86.98	99.58	85.12
O1	Zn1	O4	92.86	91.74	90.46

(continued)

Atom 1*	Atom 2*	Atom 3*	Bond angle (deg)		
			XRD data	Gas phase	Aqueous phase
O2	Zn1	O4	91.72	90.81	90.85
O2	Zn1	O1	86.98	99.90	85.12
O2	Zn1	O2	91.21	99.56	90.54
O2	Zn1	O4	148.53	147.68	147.65
O4	Zn1	O1	92.86	88.28	90.46
O4	Zn1	O2	148.53	143.73	147.65
O4	Zn1	O4	101.74	91.92	101.00
O1	Zn1	O2	56.03	57.27	55.07
O1	Zn1	O4	120.11	114.71	119.68
O2	Zn1	O4	91.72	94.38	90.85
Zn1	O1	C1	104.47	98.21	104.94
Zn1	O2	C1	78.62	91.07	77.49
C3	O3	H3	106.76	107.91	104.75
Zn1	O4	H4A	114.69	100.15	111.15
Zn1	O4	H4B	120.35	102.46	120.99
H4A	O4	H4B	122.19	101.98	121.35
O1	C1	O2	120.46	111.12	121.99
O1	C1	C2	118.01	121.43	117.24
O2	C1	C2	121.51	121.71	120.72
H7	C7	C2	119.30	119.59	118.93
H7	C7	C6	119.30	120.93	119.60
C2	C7	C6	121.40	120.25	119.55
O3	C3	C2	121.63	123.88	121.59
O3	C3	C4	117.81	128.18	117.40
C2	C3	C4	120.56	120.39	120.88
C1	C2	C7	120.06	120.34	120.28
C1	C2	C3	121.64	120.60	121.20
C7	C2	C3	118.23	119.44	118.47
H5	C5	C6	119.70	119.83	117.08
H5	C5	C4	119.72	119.37	119.23
C6	C5	C4	120.58	116.83	121.68
C7	C6	C5	119.26	120.35	118.71
C7	C6	H6	120.34	119.77	119.83
C5	C6	H6	120.40	116.49	120.69
C3	C4	C5	119.96	129.69	118.94
C3	C4	H4	120.00	119.77	120.06
C5	C4	H4	120.04	114.33	120.96
Zn1	O1	C1	104.47	96.94	104.96
Zn1	O2	C1	78.62	98.38	77.49
C3	O3	H3	106.77	106.71	104.75
Zn1	O4	H4A	114.69	102.46	111.15
Zn1	O4	H4B	120.34	100.65	120.99

(continued)

Atom 1*	Atom 2*	Atom 3*	Bond angle (deg)		
			XRD data	Gas phase	Aqueous phase
H4A	O4	H4B	122.20	108.95	121.35
O1	C1	O2	120.46	111.12	121.99
O1	C1	C2	118.01	121.30	117.24
O2	C1	C2	121.51	121.71	120.72
H7	C7	C2	119.30	119.41	118.93
H7	C7	C6	119.30	122.79	119.60
C2	C7	C6	121.40	120.46	119.55
O3	C3	C2	121.63	124.63	121.59
O3	C3	C4	117.81	128.18	117.40
C2	C3	C4	120.56	120.21	120.88
C1	C2	C7	120.06	120.55	120.28
C1	C2	C3	121.64	120.29	121.20
C7	C2	C3	118.23	119.44	118.47
H5	C5	C6	119.70	119.56	117.08
H5	C5	C4	119.72	123.61	119.23
C6	C5	C4	120.57	116.83	121.68
C7	C6	C5	119.26	120.37	118.71
C7	C6	H6	120.34	119.72	119.83
C5	C6	H6	120.39	121.05	120.69
C3	C4	C5	119.96	119.70	118.94
C3	C4	H4	120.00	119.43	120.06
C5	C4	H4	120.04	121.11	120.96

* - numbering of atoms is in accordance with Fig.1.

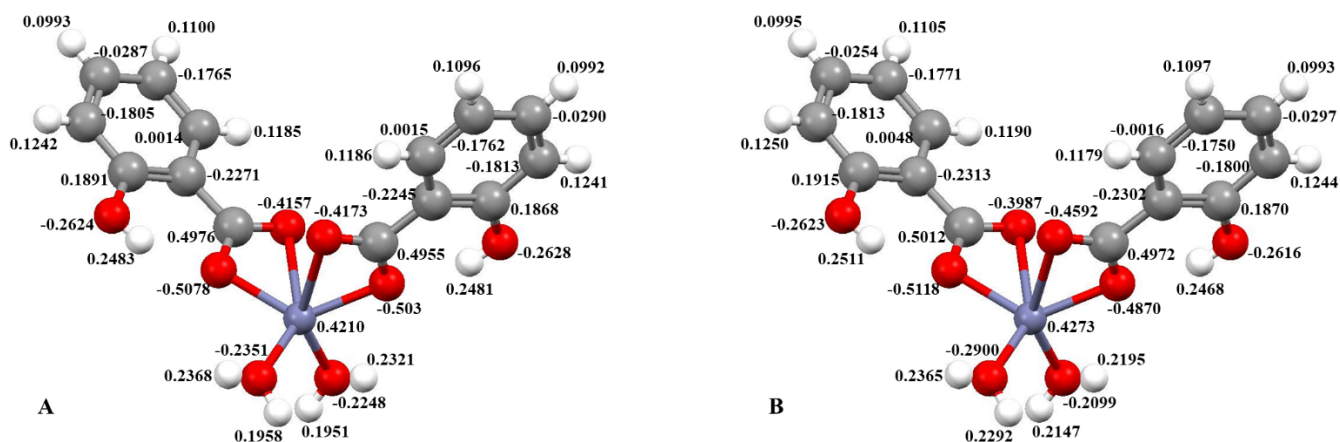


Figure 2 - PM3 Mulliken charges population for the calculated $\text{Zn}(\text{HSal})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ molecule in gas (A) and aqueous (B) phase.

Mulliken charges population analysis. The local reactivity of zinc salicylate was studied using Mulliken charge population analysis, which provides an indication of the reactive (nucleophilic and electrophilic) centers of molecules. Therefore, the regions of the molecule with high electronic

charge are chemically softer than the regions with low electronic charge, so electron density plays an important role in chemical reactivity

calculations. The results of the Mulliken atomic charge calculation are shown in Figure 2.

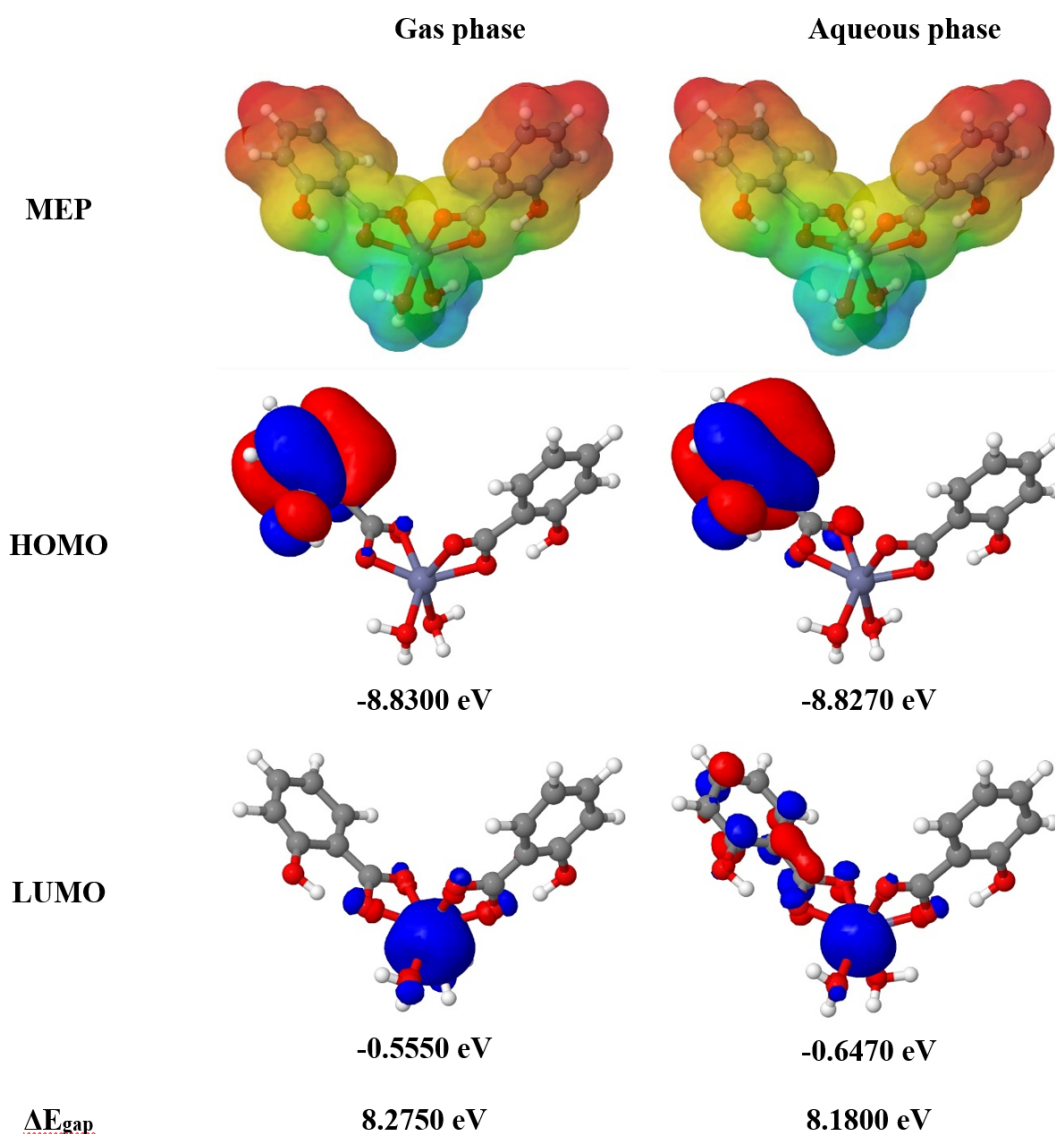


Figure 3 - The molecular electrostatic potential (MEP) and frontier molecular orbitals (HOMO-LUMO) density distribution of the $\text{Zn}(\text{HSal})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ calculated with PM3 for gas and aqueous phases.

The place for a nucleophilic attack is where the value of the positive charge is maximum. The location of electrophilic attack is in turn controlled by the negative charge value. Mulliken charge population analysis shows that the zinc atoms in both the gas and aqueous phases have the maximum positive charge. The most negative charges are on the oxygen atoms of the carboxyl groups. Consequently, the oxygen atoms of the carboxyl

groups are most susceptible to electrophilic attack. The presence of water leads to a slight shift in the electron density towards the oxygen atoms of the carboxyl groups, which becomes more negative.

Frontier molecular orbitals (FMO). Frontier orbital theory is very useful for determining the main properties of molecules. The positions of the highest occupied molecular orbital (HOMO) and the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO)

are molecular parameters that are directly related to the electron and hole transport properties of the substance. The energy gap value (ΔE_{gap}) is the difference between HOMO-LUMO and is used as a significant descriptor of molecular stability. The most stable molecule has a low ΔE_{gap} .

The molecular electrostatic potential (MEP), frontier molecular orbitals energies and ΔE_{gap} calculated for $\text{Zn}(\text{HSal})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ are shown in Figure 3.

The positively charged lobe is indicated by the blue color, and the negatively charged lobe is indicated by the red color.

E_{HOMO} describes the electron donating ability of the molecule. Conversely, E_{LUMO} describes the ability of the molecule to accept electrons. The lower the LUMO value, the higher the ability of the compound to accept electrons. The HOMOs of $\text{Zn}(\text{HSal})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ are mainly located at the oxygen atoms of the -OH-group in the ortho-position. On the other hand, the LUMOs are mainly located on the zinc atoms and oxygen atoms of the carboxyl units. The presence of water as a high dielectric constant model solvent results in a slight decrease in the LUMO energy (around 0.095 eV) and a non-significant decrease in the HOMO energy.

Negative values for E_{HOMO} and E_{LUMO} indicate the presence of additional electron pairs in both the upper and lower molecular orbitals. This means that zinc salicylate should act as an electron donor in

chemical transformations. A low negative LUMO value (near zero) indicates that zinc salicylate is a weak electrophile.

The gap energy (ΔE_{gap} , Eq.1.) between the frontier orbitals is usually of great importance in describing static molecular reactivity. Large energy gap values mean high electronic stability and therefore low reactivity. In the gas phase, zinc salicylate has a higher ΔE_{gap} value than in solution (8.275 eV and 8.180 eV respectively). Therefore, zinc salicylate is more stable in the gas phase than in solution. Under the influence of polar water molecules, zinc salicylate becomes unstable as it dissolves and dissociates into ions.

Quantum chemical descriptors. In accordance with the relationship of HOMO-LUMO energy values, the reactivity descriptors of the $\text{Zn}(\text{HSal})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ molecule were calculated using formulas 2-8 in gas and aqueous phases. The calculation results obtained are shown in Table 3.

The heat of formation value provides a quantitative estimate of the energy required to destroy the molecule. The negative value of the heat of formation indicates the high stability of the substance both in the gas phase (-1079.97 kJ/mol) and in the aqueous phase (-1102.97 kJ/mol). A more negative value indicates greater stability of zinc salicylate in the aqueous phase. PM3 predicts these values for a standard thermodynamic temperature of 298.15 K.

Table 3 - Quantum chemical descriptors of the $\text{Zn}(\text{HSal})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ molecule calculated using the PM3 method in the gas and aqueous phase.

Descriptor	Gas phase	Aqueous phase
Heat of formation (ΔH_f), kJ/mol	-1079.97	-1102.20
Dipole moment (μ), D	4.9320	3.9620
Ionization energy (IP), eV	8.8300	8.8270
Electron affinity (EA), eV	0.5550	0.6470
Electronegativity (χ), eV	4.6925	4.7370
Chemical hardness (η), eV	4.1375	4.0900
Chemical softness (σ), eV	0.2417	0.2445
Electrophilicity index (ω), eV	2.6610	2.7432
Nucleophilicity index (ϵ), eV	0.3758	0.3645

Comparison of the calculated dipole moment (μ) of zinc salicylate (4,9320 D gas, 3.9620 D aqueous) with the dipole moments of water (1.83 D) and alcohols (CH_3OH 1.69 D, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 1.66 D) shows its good solubility in polar solvents, especially in water. Dipole moment values also show that zinc salicylate readily dissolves in aprotic polar solvents such as dimethylacetamide (3.72 D), N,N-dimethylformamide (3.86 D), N-methylpyrrolidone (4.09 D), dimethyl sulfoxide (4.1 D) and propylene carbonate (4.94 D). Zinc salicylate should be insoluble in non-polar solvents.

Electronegativity indicates the molecular ability to accept electrons. The structure obtained in the aqueous phase becomes more electronegative than in the gas phase. Value of global hardness (η) based on 4.137 eV and 4.09 eV for the gas and aqueous phases, respectively. This means that zinc salicylate is a hard reagent in both phases and a better electrophile in the aqueous phase.

The global softness (σ) is the reciprocal of the global hardness [35]. Both are related to the principle of hard and soft acid and base (HSAB) and are very useful in explaining various experimental observations. These parameters characterize the molecule as a whole. Softness is an important property for measuring the molecular stability and

reactivity. The calculated softness value for zinc salicylate is higher in aqueous than in the gas phase.

The global electrophilicity index (ω) introduced by Parr [36,37], is a measure of energy stabilization after a molecule has acquired an additional amount of electrons. As shown in Table 3, zinc salicylate has the highest value of electrophilicity index in the aqueous phase. Therefore, zinc salicylate is chemically more reactive in the gas phase.

Conclusion. In this research, $\text{Zn}(\text{HSal})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ was studied using the semi-empirical PM3 computational approach. The calculations were carried out for the gas and aqueous phases. The calculations performed in the present study predict that the calculated geometric parameters are close to those from X-ray studies. A comparison of the available X-ray crystallographic data and the theoretical results obtained shows that there is a large correlation. The best agreement was found for the aqueous phase calculations. PM3 calculation of the geometry of zinc salicylate dihydrate performs quite well in terms of both bond distances and bond angles. The agreement between calculated and experimental data is satisfactory, especially in the case of the aqueous phase calculation. Therefore, this approach is promising for application to such systems.

References

1. Das S. K. et al. Highly porous Co (II)-salicylate metal–organic framework: synthesis, characterization and magnetic properties //Dalton Transactions. – 2011. – Vol. 40 (12) – P. 2932-2939.
<https://doi.org/10.1039/C0DT01483D>
2. Kohno Y. et al. A cobalt (II) bis (salicylate)-based ionic liquid that shows thermoresponsive and selective water coordination //Chemical Communications. – 2014. – Vol. 50 (50) – P. 6633-6636.
<https://doi:10.1039/c4cc01023j>
3. Chakraborty B., Paine T. K. Synthesis and characterization of cobalt (II)–salicylate complexes derived from N4-donor ligands: Stabilization of a hexameric water cluster in the lattice host of a cobalt (III)–salicylate complex //Inorganica Chimica Acta. – 2011. – Vol. 378 (1) – P. 231-238.
<https://doi.org/10.1016/j.ica.2011.09.008>
4. Devereux M. et al. Manganese (II) salicylate complexes as H_2O_2 disproportionation catalysts: X-ray crystal structure of $[\text{Mn}(\text{Hsal})_2(\text{bipy})] \cdot \text{H}_2\text{O}$ (H_2sal = salicylic acid, bipy= 2,2'-bipyridine) //Polyhedron. – 1996. – Vol. 15 (12) – P. 2029-2033. [https://doi.org/10.1016/0277-5387\(95\)00452-1](https://doi.org/10.1016/0277-5387(95)00452-1)
5. Lemoine P. et al. Crystal structure of bis (N,N-dimethylbiguanide) nickel (II) salicylate, $\text{C}_{22}\text{H}_{32}\text{N}_{10}\text{NiO}_6$ //Zeitschrift für Kristallographie-New Crystal Structures. – 1999. – Vol. 214 (3) – P. 369-370.

<https://doi.org/10.1515/ncrs-1999-0337>

6. Jian F. *et al.* Structure of hexakis (imidazole) nickel (II) disalicylate, $[\text{Ni}(\text{Im})_6](\text{Sal})_2$ //Journal of chemical crystallography. – 1999. – Vol. 29. – P. 359-363. <https://doi.org/10.1023/A:1009542422416>

7. Auer D. E., Ng J. C., Seawright A. A. Copper salicylate and copper phenylbutazone as topically applied anti-inflammatory agents in the rat and horse //Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics. – 1990. – Vol (1) – P. 67-75. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2885.1990.tb00749.x>

8. Ünaleroğlu C., Zümreoğlu-Karan B., Mert Y. Zinc ascorbate: a combined experimental and computational study for structure elucidation //Journal of molecular structure. – 2002. – Vol. 605 (2-3) – P. 227-233. [https://doi.org/10.1016/S0022-2860\(01\)00765-7](https://doi.org/10.1016/S0022-2860(01)00765-7)

9. Lansdown A. B. G. *et al.* Zinc in wound healing: theoretical, experimental, and clinical aspects //Wound repair and regeneration. – 2007. – Vol. 15 (1) – P. 2-16. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475X.2006.00179.x>

10. Lin P. H. *et al.* Zinc in wound healing modulation //Nutrients. – 2017. – Vol. 10 (1) – P. 16. <https://doi.org/10.3390/nu10010016>

11. Scrimshaw N. S., Young V. R. The requirements of human nutrition //Scientific American. – 1976. – Vol. 235 (3) – P. 50-65. <http://www.jstor.org/stable/24950435>

12. Cabot C. *et al.* A role for zinc in plant defense against pathogens and herbivores //Frontiers in plant science. – 2019. – Vol. 10. – P. 1171. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01171>

13. Balafrej H. *et al.* Zinc hyperaccumulation in plants: A review //Plants. – 2020. – Vol. 9 (5) – P. 562. <https://doi.org/10.3390/plants9050562>

14. Bellotti N., Romagnoli R. Assessment of zinc salicylate as antifouling product for marine coatings //Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2014. – Vol. 53 (38) – P. 14559-14564. <https://doi.org/10.1021/ie5015734>

15. Fang L. *et al.* Zinc salicylate reduces airway smooth muscle cells remodelling by blocking mTOR and activating p21^(Waf1/Cip1) //The Journal of Nutritional Biochemistry. – 2021. – Vol. 89. – P. 108563. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108563>

16. Zhang Z. J. *et al.* Conversion of a zinc salicylate complex into porous carbons through a template carbonization process as a superior electrode material for supercapacitors //RSC advance. – 2014. – Vol. 4 (13) – P. 6664-6671. <https://doi.org/10.1039/C3RA44981E>

17. Brownless N. J., Edwards D. A., Mahon M. F. Some complexes derived from zinc salicylate or 3, 5-di-tert-butylsalicylate. The crystal structure of (2,2'-bipyridyl)(methanol)(O-salicylato)(O,O'-salicylato) zinc //Inorganica chimica acta. – 1999. – Vol. 287 (1) – P. 89-94. [https://doi.org/10.1016/S0020-1693\(98\)00421-6](https://doi.org/10.1016/S0020-1693(98)00421-6)

18. Chooset S. *et al.* Synthesis, crystal structure, luminescent properties and antibacterial activities of zinc complexes with bipyridyl and salicylate ligands //Inorganica Chimica Acta. – 2018. – Vol. 471. – P. 493-501. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2017.11.053> Get rights and content

19. Mohr M. *et al.* The use of methods involving semi-empirical molecular orbital theory to study the structure and reactivity of transition metal complexes //Faraday Discussions. – 2003. – Vol. 124. – P. 413-428. <https://doi.org/10.1039/B211791F>

20. Cundari T. R., Deng J. PM3 (tm) Analysis of Transition-Metal Complexes //Journal of chemical information and computer sciences. – 1999. – Vol. 39 (2) – P. 376-381. <https://doi.org/10.1021/ci980145d>

21. Bosque R., Maseras F. Performance of the semiempirical PM3 (tm) method in the geometry optimization of transition metal complexes //Journal of Computational Chemistry. – 2000. – Vol. 21 (7) – P. 562-571.

[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-987X\(200005\)21:7<562::AID-JCC5>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-987X(200005)21:7<562::AID-JCC5>3.0.CO;2-0)

22. Bräuer M. *et al.* Evaluation of the accuracy of PM3, AM1 and MNDO/d as applied to zinc compounds //Journal of Molecular Structure: THEOCHEM. – 2000. – Vol. 505 (1-3) – P. 289-301.

[https://doi.org/10.1016/S0166-1280\(99\)00401-7](https://doi.org/10.1016/S0166-1280(99)00401-7)

23. Schmidt M. W. *et al.* General atomic and molecular electronic structure system //Journal of computational chemistry. – 1993. – Vol. 14 (11) – P. 1347-1363. <https://doi.org/10.1002/jcc.540141112>

24. Hanwell M. D. *et al.* Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform //Journal of cheminformatics. – 2012. – Vol. 4. – P. 1-17. <https://doi.org/10.1186/1758-2946-4-17>

25. Jmol: an open-source Java viewer for chemical structures in 3D [Electronic source]. Available at: <http://www.jmol.org>.

26. Stewart J. J. P. Optimization of parameters for semiempirical methods II. Applications //Journal of computational chemistry. – 1989. – Vol. 10 (2) – P. 221-264. <https://doi.org/10.1002/jcc.540100209>

27. Pinheiro P. S. M. *et al.* Modeling zinc-oxygen coordination in histone deacetylase: a comparison of semiempirical methods performance //International Journal of Quantum Chemistry. – 2018. – Vol. 118 (21) – P. e25720. <https://doi.org/10.1002/qua.25720>

28. Zhan C. G., Nichols J. A., Dixon D. A. Ionization potential, electron affinity, electronegativity, hardness, and electron excitation energy: molecular properties from density functional theory orbital energies //The Journal of Physical Chemistry A. – 2003. – Vol. 107 (20) – P. 4184-4195. <https://doi.org/10.1021/jp0225774>

29. El Mehdi B. *et al.* Synthesis and comparative study of the inhibitive effect of some new triazole derivatives towards corrosion of mild steel in hydrochloric acid solution //Materials Chemistry and Physics. – 2003. – Vol. 77 (2) – P. 489-496. [https://doi.org/10.1016/S0254-0584\(02\)00085-8](https://doi.org/10.1016/S0254-0584(02)00085-8)

30. Gusev A. *et al.* Mn (II), Co (II), Ni (II) and Zn salicylates: Synthesis, structure and biological properties studies //Inorganica Chimica Acta. – 2021. – Vol. 528. – P. 120606. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2021.120606>

31. Klug H. P., Alexander L. E., Sumner G. G. The crystal structure of zinc salicylate dihydrate //Acta Crystallographica. – 1958. – Vol. 11 (1) – P. 41-46. <https://doi.org/10.1107/S0365110X58000086>

32. Chomič J. *et al.* Thermal study of zinc (II) salicylate complex compounds with bioactive ligands //Journal of thermal analysis and calorimetry. – 2004. – Vol. 76. – P. 33-41.

<https://doi.org/10.1023/B:JTAN.0000027800.14514.c2>

33. Györyovő K., Chomič J., Kováčovő J. Thermal behaviour of zinc (II) 5-chlorosalicylate complex compounds //Journal of thermal analysis and calorimetry. – 2005. – Vol. 80. – P. 375-380.

<https://doi.org/10.1007/s10973-005-0663-0>

34. Singh R. K. P. *et al.* Stability constants of salicylate of zinc (II), cobalt (II), uranyl (II) and thorium (IV) by paper electrophoresis //Zeitschrift für Physikalische Chemie. – 1983. – Vol. 264 (1) – P. 464-468. <https://doi.org/10.1515/zpch-1983-26457>

35. Pearson R. G. Absolute electronegativity and hardness: application to inorganic chemistry //Inorganic chemistry. – 1988. – Vol. 27 (4) – P. 734-740. <https://doi.org/10.1021/ic00277a030>

36. Parr R. G., Pearson R. G. Absolute hardness: companion parameter to absolute electronegativity //Journal of the American chemical society. – 1983. – Vol. 105 (26) – P. 7512-7516.

<https://doi.org/10.1021/ja00364a005>

37. Parr R. G., Szentpály L., Liu S. Electrophilicity index //Journal of the American Chemical Society. – 1999. – Vol. 121 (9) – P. 1922-1924.

<https://doi.org/10.1021/ja983494x>

Information about the authors

Akatyev N. V. - Candidate of Chemical Sciences, senior lecturer, M. Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan, e-mail: nikolay.akatyev@wku.edu.kz

Сведения об авторе

Акатьев Н. В. - кандидат химических наук, старший преподаватель, Западно-Казахстанский университет им. М.Утемисова, Уральск, Казахстан, e-mail: nikolay.akatyev@wku.edu.kz

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ КОМПЛЕКСОВ ВКЛЮЧЕНИЙ ГИДРАЗИДОВ *o*- И *n*-ГИДРОКСИБЕНЗОЙНЫХ КИСЛОТ И ИХ ГИДРАЗОНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

¹С.Д. Фазылов✉, ²Ж.Б. Сатпаева, ¹О.А. Нуркенов, ³Р.Е. Бакирова, ⁴А.К. Свидерский,
¹А.Ж. Мендибаева

¹Институт органического синтеза и углехимии РК, Караганда, Казахстан,

²НАО «Карагандинский университет им. Е.А. Букетова», Караганда, Казахстан,

³Медицинский университет Караганды, Караганда, Казахстан,

⁴ Жезказганский университет им. О.А. Байконурова, Жезказган, Казахстан

✉Корреспондент-автор: iosu8990@mail.ru

В статье представлены результаты исследований по получению водорастворимых комплексов биологически активных гидразидов и гидразонов, получаемых на основе производных *o*- и *n*- гидроксibenзойных кислот. Гидразоны находят широкое применение в медицине в качестве противотуберкулезных антибактериальных и противовоспалительных препаратов, антисептиков, консервантов и других биоактивных субстратов. Для большинства из них характерно низкая растворимость в воде, что ограничивает дальнейшее их изучение на биологическую активность. В статье показано, что гидразиды *o*- и *n*- гидроксibenзойных кислот и их гидразоновые производные могут образовывать различные комплексы включений с природными макромолекулярными биополимерами. Рассмотренные в статье новые гидразоновые продукты, способны растворяться в воде, а также образовывать устойчивые водные дисперсии. Получение водорастворимых комплексов указанных соединений могут привести к повышению их биологической доступности, что соответственно позволит значительно сократить их терапевтическую концентрацию. Показано, что комплексы между молекулами биополимера и субстрата являются достаточно стабильными. При этом молекула комплексообразователя будет способствовать защите молекулы субстрата от взаимодействия с различными высоко реакционноспособными молекулами, снижая скорость окисления, гидролиза и/или деструкции, а также вероятность стерических перегруппировок и рацемизации. Описанные в работе новые комплексы включений гидразидов и гидразонов *o*- и *n*- гидроксibenзойных кислот охарактеризованы с помощью ИК- и ЯМР-¹Н спектроскопии, дифференциальной сканирующей термогравиметрии и сканирующего электронного микроскопа.

Ключевые слова: *o*- и *n*- гидроксibenзойные кислоты, гидразид, гидразон, макромолекулы, комплекс включения, дифференциальная термогравиметрия.

ГИДРОКСИБЕНЗОЙ ҚЫШҚЫЛ ГИДРАЗИДТЕРІ МЕН ОЛАРДЫҢ ГИДРАЗОНДЫ ТУЫНДЫЛАРЫНЫҢ СУДА ЕРИТІН КЕШЕНДЕРІН АЛУ

¹С.Д. Фазылов✉, ²Ж.Б. Сәтпаева, ¹О.А. Нүркенов, ³Р.Е. Бәкірова,
⁴А.К. Свидерский, ¹Ә.Ж. Мендібаева

¹ҚР Органикалық синтез және көмірхимиясы институты, Қарағанды, Қазақстан,

²КЕАҚ «Е.А. Букетов атындағы Қарағанды университеті», Қарағанды, Қазақстан,

³Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан,

⁴Ө.А.Байқоңыров атындағы Жезқазған университеті, Жезқазған, Қазақстан,

Мақалада *o*- және *n*-гидроксibenзой қышқылдары негізінде алынатын биологиялық белсенді гидразидтер мен гидразондардың суда еритін кешендерін алу бойынша зерттеу нәтижелері ұсынылған. Гидразондар медицинада туберкулезге, бактерияға және қабынуға қарсы препараттар, антисептиктер, консерванттар және басқа биоактивті субстраттар ретінде кеңінен қолданылады. Олардың көпшілігі суда төмен ерігіштігімен сипатталады, бұл олардың әрі қарай биологиялық белсенділігін зерттеуге шектеу қояды. Мақалада *o*- және *n*-гидроксibenзой қышқыл гидразидтері мен олардың гидразон туындылары табиғи макромолекулалық биополимерлермен әр түрлі қосу кешендерін құра алатыны көрсетілген. Мақалада талқыланған жаңа гидразон өнімдері суда ериді, сонымен қатар тұрақты сулы дисперсиялар түзеді. Осы қосылыстардың суда еритін кешендерін алу олардың биологиялық қолжетімділігін жоғарылауына әкелуі мүмкін, бұл тиісінше олардың емдік концентрациясын төмендетеді. Биополимер мен субстрат молекулалары арасындағы комплекстердің айтарлықтай тұрақты болатыны дәлелденді. Бұл жағдайда комплекс түзуші молекула субстрат молекуласы әр түрлі жоғары реактивті молекулалармен әрекеттесуден қорғауға көмектесіп, тотығу, гидролиз және/немесе жойылу жылдамдығын, сондай-ақ кеңістіктік қайта құрылымдау мен рацемизация ықтималдығын төмендетеді. Жұмыста сипатталған *o*- және *n*-гидроксibenзой қышқылдар гидразидтер мен гидразондарының жаңа комплексті кешендері ИҚ- мен ¹H-ЯМР спектроскопиясы, дифференциалды сканерлеуші термогравиметрия мен сканерлеуші электронды микроскоп арқылы сипатталды.

Түйін сөздер: *o*- және *n*-гидроксibenзой қышқылдары, гидразид, гидразон, макромолекулалар, қосылу кешендері, дифференциалды термогравиметрия.

PREPARATION OF WATER-SOLUBLE COMPLEXES OF INCLUSIONS HYDRAZIDES OF *o*- AND *p*-HYDROXYBENZOIC ACIDS AND THEIR HYDRAZONE DERIVATIVES

¹S.D. Fazylov✉, ²Zh.B. Satpaeva, ¹O.A. Nurkenov, ³R.E. Bakirova,
⁴A.K. Sviderskiy, ¹A.Zh. Mendibayeva

¹Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry, Karaganda, Kazakhstan,

²Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan,

³ Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan,

⁴ Zhezkazgan University, Zhezkazgan, Казахстан,

e-mail: iosu8990@mail.ru

The article presents the results of studies on obtaining water-soluble complexes of biologically active hydrazides and hydrazones derived from derivatives of *o*- and *p*-hydroxybenzoic acids. Hydrazones are widely used in medicine as antitubercular antibacterial and anti-inflammatory drugs, antiseptics, preservatives and other bioactive substrates. Most of them are characterized by low solubility in water, which limits their further study for biological activity. The paper shows that hydrazides of *o*- and *p*-hydroxybenzoic acids and their hydrazone derivatives can form various inclusion complexes with natural macromolecular biopolymers. The new hydrazone products considered in this article are able to dissolve in water and also form stable aqueous dispersions. Obtaining water-soluble complexes of these compounds can lead to an increase in their bioavailability, which, accordingly, will allow to significantly reduce their therapeutic concentration. Complexes between biopolymer and substrate molecules have been shown to be quite stable. In this case, the host complexing molecule will contribute to the protection of the substrate molecule from interaction with various highly reactive molecules, reducing

the rate of oxidation, hydrolysis and/or degradation, as well as the probability of steric rearrangements and racemization. The new inclusion complexes of hydrazides and hydrazones of *o*- and *p*-hydroxybenzoic acids described in this work have been characterized by IR and NMR-1H spectroscopy, differential scanning thermogravimetry and scanning electron microscope.

Keywords: *o*- and *p*-hydroxybenzoic acids, hydrazide, hydrazone, macromolecules, inclusion complex, differential thermogravimetry.

Введение. Гидразиды и гидразоны, полученные на основе производных *o*- и *n*-гидроксibenзойных кислот находят широкое применение в медицине в качестве противотуберкулезных антибактериальных и противовоспалительных препаратов, антисептиков [1], консервантов [2] и других биоактивных субстратов [3]. Однако для большинства из них характерно низкая растворимость в воде, что ограничивает дальнейшее их изучение на биологическую активность, в частности, такое свойство характерно для многих производных гидразидов *o*- и *n*-гидроксibenзойных кислот. В настоящее время в фармакологии разработаны и используются различные пути повышения растворимости биоактивных веществ в полярных растворителях с использованием специальных макромолекулярных биополимеров - краун-эфиров, криптанов, циклофанов, каликсаренов и полисахаридов как комплексообразователей [4]. Вышеуказанные биополимеры имеют гидрофобную внутреннюю полость и гидрофильную внешнюю оболочку. Получением комплекса включения можно увеличить также стабильность низкомолекулярных веществ, чувствительных к действию света и кислорода воздуха, увеличить их растворимость в воде, биодоступность, а также снизить токсичность.

Комплексы между молекулами биополимера и субстрата, формирующиеся под действием нековалентных сил (ван-дер-ваальсовых, гидрофобных и т.п.), являются достаточно стабильными. При этом молекула комплексообразователя-хозяина будет способствовать защите молекулы субстрата от взаимодействия с различными высоко реакционноспособными молекулами, снижая скорость окисления, гидролиза и/или ферментативной деструкции, вероятность стерических перегруппировок и рацемизации [4]. К одним из та-

ких перспективных природных комплексообразователей можно отнести природные олигосахариды (циклодекстрины), получаемые ферментативной деструкцией картофельного крахмала [5]. Они имеют молекулу в форме усеченного конуса с внутренними (H_3 и H_5) и внешними (H_2 и H_4) протонами. Такая структура молекулы циклодекстрина обеспечивает возможность вхождения активной субстанции в полость рецептора в результате гидрофобных взаимодействий между БАВ и комплексообразователем. Синтезированные нами новые гидразиды и гидразоны (3-5) *o*- и *n*-гидроксibenзойных кислот [6] мало растворимы в воде. В настоящей работе нами представлены результаты исследования по получению водорастворимых комплексов включений новых синтезированных нами гидразидов и их гидразоновых производных [6] с природным олигомером.

Материалы и методы. В качестве субстратов для получения комплексов включений были использованы синтезированные нами [6] гидразиды (1 и 2), а также их гидразоновые производные: N-(4-(диэтиламино)-2-гидроксibenзилиден)-2-гидроксibenзогидразид (3), N-(4-(диэтиламино)-2-гидроксibenзилиден)-4-гидроксibenзогидразид (4), N-(2-хлор-6-фторбензилиден)-4-гидроксibenзогидразид (5). В качестве комплексообразователя был выбран β -циклодекстрин производства "Fluka" (США)(чистота 99%). Все выше указанные вещества, при биоскрининге показали умеренно-выраженную антимикробную активность и характеризовались слабым антирадикальным эффектом [6], а также обладали низкой водорастворимостью [7-8].

Получение комплексов соединений (6-10) с полисахаридом осуществлялось в водно-спиртовой среде. К концентрированному раствору гидразида *o*- или *n*-гидроксibenзойных кислот (1, 2) в

этаноле в мольном соотношении 1:1 по каплям вносили насыщенный раствор β -циклодекстрина (ЦД) в воде при температуре 80-90°C. Аналогично проводилось получение комплексов гидразидов и гидразонов (8-10) с полисахараридом в соотношении 1:2 (рисунок 1).

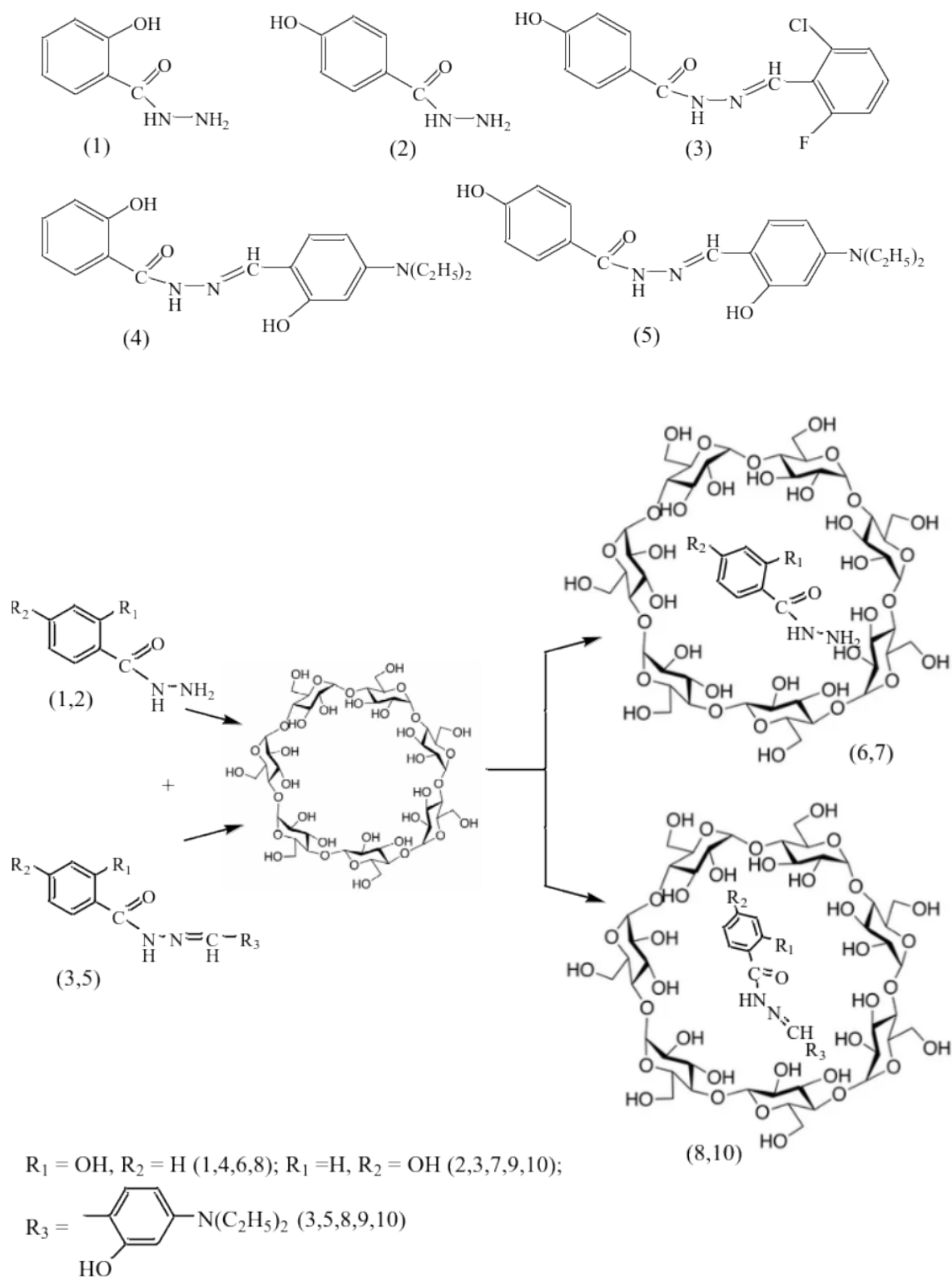


Рис. 1 – Схема синтеза комплексов включений соединений (6-10)

Комплексы включения гидразидов (1,2) и гидразонов (3-5) с ЦД-ном, а также их комплексов (6-10) получали в виде кристаллических порошков белого цвета с выходами 80-85%. Конечные продукты были высушены в сушильном шкафу при температуре $50 \pm 1^\circ\text{C}$. Полученные водорастворимые комплексы включения гидразидов и их гидразоновые производные с ЦД-ном (6-10) образуют устойчивые водные дисперсии, что приводит к повышению их биологической доступности, тем самым сокращая их терапевтическую дозовую концентрацию.

ИК спектры исходных и конечных продуктов регистрировали на спектрометре с Фурье-преобразователем FSM 1201 по волновому числу в диапазоне от 4000 до 500 см^{-1} в таблетках с КВг. Спектры ЯМР ^1H соединений сни-

мали на спектрометре JNM-ECA Jeol 400 (частота 399.78 МГц) с использованием растворителей DMCO-d_6 и CDCl_3 . Химические сдвиги измеряли относительно сигналов остаточных протонов или атомов углерода дейтерированного растворителя. Температуры плавления определяли на приборе «SMP10». Термогравиметрический (ТГ), дифференциальный термический (ДТГ) и дифференциально-сканирующий калориметрический (ДСК) анализ проводили на оборудовании ДТА/ДСК (Labsys EVO, Setaram, Франция) в динамическом режиме в диапазоне температур $30\text{-}500^\circ\text{C}$ при скорости нагрева $100^\circ\text{C}/\text{мин}$ в атмосфере азота и воздуха.

Результаты и обсуждение. На рисунке 2 приведены ИК спектры ЦД (а), физической смеси ЦД с (б) (б) и комплекса включения (б) (в).

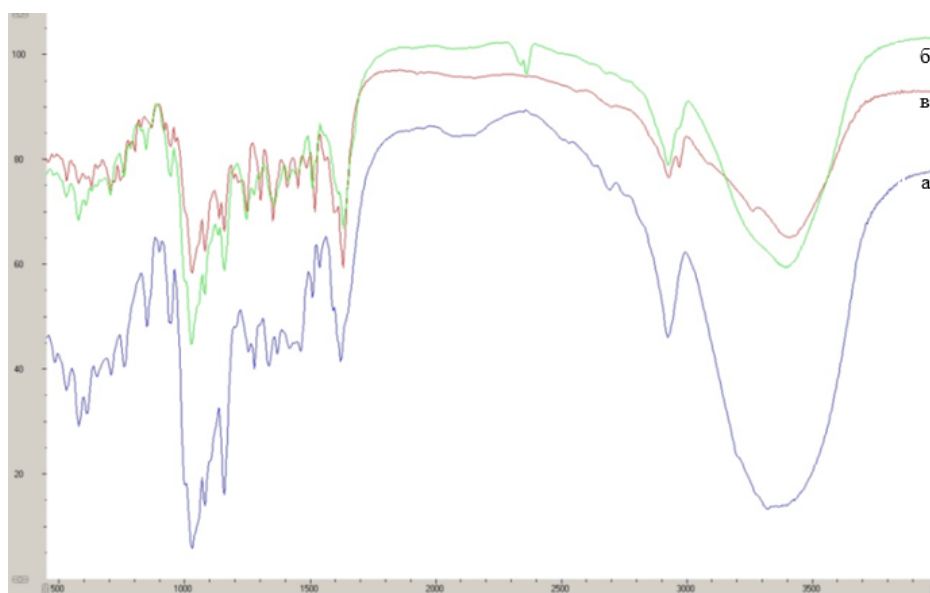


Рис. 2 – ИК спектр ЦД (а), физической смеси ЦД и субстрата (б), клатратного комплекса ЦД:(б) (в), соотношение (1:1)

В ИК спектре полученного комплекса (б) ОН-группы ЦД проявляются широкой характерной полосой в области $3310\text{-}3320\text{ см}^{-1}$, колебания связи С-Н прописываются в областях $2900\text{-}2910$ и $887\text{-}892\text{ см}^{-1}$. Следует отметить, что в ИК спектрах всех комплексов включений (6-10) основные характерные полосы поглощения субстратов (1-5) не проявляются, так как это можно объяснить эффектом экранирования широкими по-

лосами поглощения функциональных групп ЦД. Однако, в спектрах наблюдаются смещение характерных полос поглощения комплексообразователя (молекулы полисахарида).

В таблице 1 приведены значения химического сдвигов $\Delta\delta$ протонов комплексообразователя в ЯМР- ^1H спектрах ЦД и его комплексе включения с продуктом (б) (2:1) в свободном состоянии (δ_0 , м.д.) и в составе комплекса (δ , м.д.)

Таблица 1 – Значения химических сдвигов $\Delta\delta$ протонов в ЯМР- ^1H спектрах ЦД и его комплексе включения с продуктом (6) (2:1) в свободном состоянии (δ_0 , м.д.) и в составе комплекса (δ , м.д.)

Протон	δ_0 , м.д. (ЦД)	δ , м.д. (ЦД:(6))	$\Delta\delta$ ($\delta - \delta_0$), м.д.
	$\delta(1\text{H})$	$\delta(1\text{H})$	$\delta(1\text{H})$
H1	4.77	4.76	-0.01
H2	3.26	3.28	-0.02
H3	3.43	3.35	-0.08
H4	3.27	3.26	0.01
H5	3.43	3.37	-0.06
H6	3.58	3.59	0.01

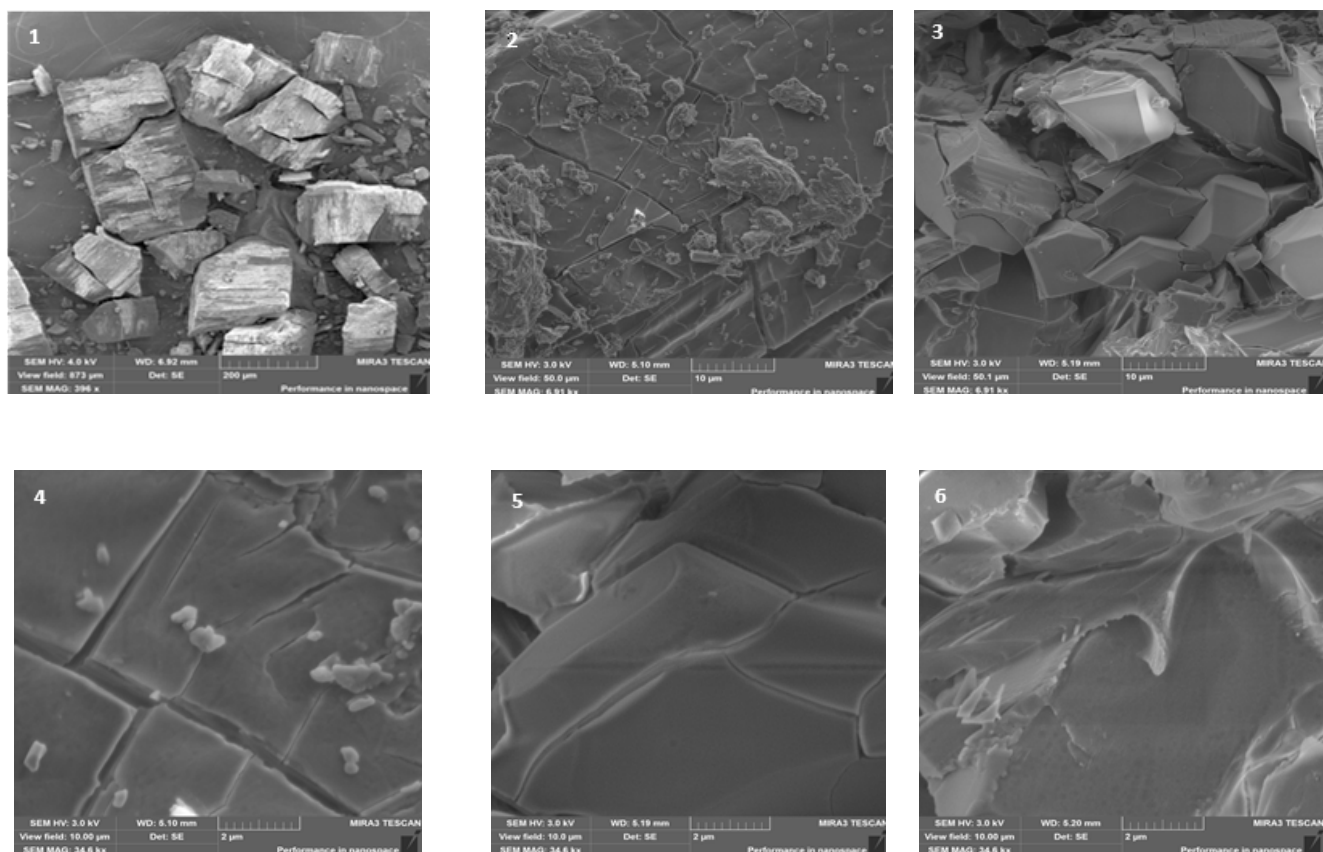


Рис. 3 - Электронные микрофотографии ЦД (снимки 1, 2), физической смеси ЦД с (6) (снимки 3,4) и комплекса ЦД:(6) (2:1) (снимки при различных увеличениях)

На основании приведенных в таблице 1 данных можно отметить, что наибольшее смещение испытывают протоны внутренней сферы полисахарида – H3 и H5. Эти данные свидетельствуют в пользу образования внутреннего комплекса β -ЦД с (6) [9-12].

На рисунке 3 показаны микрофотографии кристалликов комплексов, снятых при различных

увеличениях, на сканирующем электронном микроскопе, СЭМ - β -ЦД, физической смеси ЦД и вещества (6) и комплекса включения ЦД:(6) (2:1). Снимки (1-6) были сделаны при различных ускоряющих напряжениях. На многократно увеличенных снимках комплексов наблюдается резкое изменение морфологии и формы кристаллов: кристаллические формы частиц кластра-

тов имеют более сглаженный вид (возможно, из-за пленкообразования (снимки 5 и 6) при SEM MAG 69,2кx). Изменения морфологии поверхности кристаллов при комплексообразовании суб-

страта с молекулой полисахарида являются одним из доказательств образования комплексов включений.

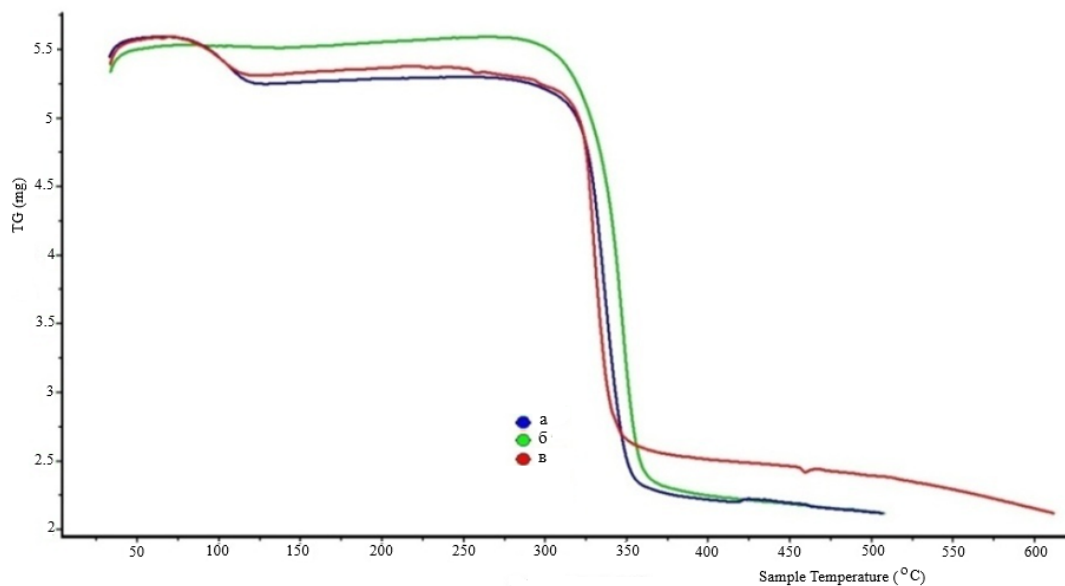


Рис. 4 - Термогравиметрические кривые циклодекстрина (а), продукта (б) и комплекса включения ЦД:(б)

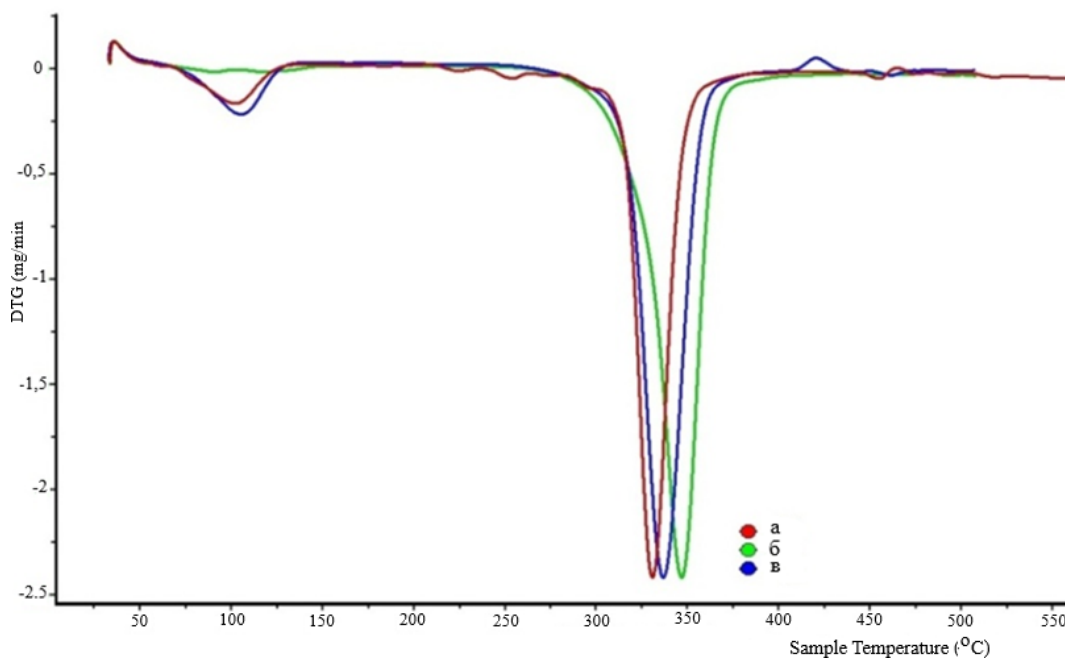


Рис. 5 – Дифференциальная сканирующая калориметрия комплекса включения ЦД:(б) (а), физической смеси ЦД:(б) (б) (соотношение 1:1) и циклодекстрина (в)

Термическую стабильность полученных комплексов включения гидразидов и их гидразоновых производных при комплексообразовании с ЦД изучали с помощью дифференциального термического анализа (ДТА). С помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии можно установить зависимость изменения массы синтезированных супрамолекулярных комплексов включения от температуры (термогравиметрическая кривая) и по ее пику точно определить максимальную скорость горения комплекса [13].

На рисунках 4 и 5 приведены ТГ/ДТА кривые ЦД и физической смеси ЦД с (6) и комплекса включения ЦД:(6). Согласно данным ТГ в интервале температур от 32,8°C до 320°C циклодекстриновый комплекс включения ЦД:(6) не претерпевает превращений, приводящих к изменению его массы [14,15]. Основное количество летучих компонентов выделилось при 330°C-370°C. В этом интервале происходит интенсивная убыль массы комплекса, о чем свидетельствует ход термогравиметрической кривой. Процесс деструкции практически полностью завершается при температуре 380°C.

Синтезированные комплексы включения содержали воду, которому свидетельствуют эндотермический пик дегидратации в диапазоне 50-125°C, это является переходом ЦД в безводную форму в результате испарения воды [14,15]. Процесс термодеструкции ЦД начинается с 300°C, в области температур 329-348°C происходит термодеструкция комплекса включения, что свидетельствует о повышении термостабильности ЦД при включении в его полость биологически активного компонента (6). На кривой скорости потери массы в интервале температур 32°C-270°C не наблюдается изменение скорости. Начиная с 310°C наблюдается резкое увеличение скорости и достигает своего пика при $\approx 340^\circ\text{C}$, значение

скорости при данной температуре составляет 1,7 мг/мин. Далее идет постепенное уменьшение, и при 380°C скорость стабилизируется. На кривой ДСК при температуре 329°C (9), 335°C (8), 348°C (10) наблюдается эндотермический пик, обусловленный плавлением, при этом масса вещества не меняется, далее при температуре $\approx 370^\circ\text{C}$ присутствует экзотермический эффект, которое объясняется разложением образца с выделением летучих продуктов и потерей массы.

Выводы. В химической фармакологии используются различные пути повышения растворимости биоактивных веществ с использованием специальных макромолекулярных биополимеров - краун-эфиров, криптанов, циклофанов, каликсаренов, хитазана и полисахаридов как комплексообразователей. Получением комплексов включения можно увеличить растворимость и стабильность низкомолекулярных веществ. Гидразиды *o*- и *n*- гидроксibenзойных кислот и их гидразоновые производные могут образовывать различные комплексы включений с макромолекулярными биополимерами. Полученные продукты образуют смесь, способных растворяться в воде или образовывать устойчивые водные дисперсии. Получение водорастворимых комплексов указанных соединений должно привести к повышению их биологической доступности, что соответственно позволит значительно сократить их терапевтическую концентрацию. Данные физико-химических методов исследований (ИК-, ЯМР ^1H спектры, ДТГ, СЭМ) могут быть использованы при анализе полученных комплексов включений биоактивных веществ.

Финансирование: Научно-исследовательская работа осуществлена в рамках ГФ АР14869941 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Литература

1. Лисина С.В., Брель А.К., Мазанова Л.С., Спасов А.А. Синтез и жаропонижающая активность новых производных салициловой кислоты//Химико-фармацевтический журнал.- 2008.-Т.42.(10).- С.24-26. DOI 10.30906/0023-1134-2008-42-10-24-26
2. Беликов В.Г. Синтетические и природные лекарственные средства. - М.: Высшая школа. - 1993. - 720 с. ISBN 5-06-002985-9

3. Машковский М.Д. Лекарственные средства. – М.: ООО РИА «Новая волна». - 2012. – 1216 с. ISBN 978-5-7864-0218-7
4. Степаненко Б.Н. Химия и биохимия углеводов: моносахариды. – М.: Высш. Школа. - 1977. – 223 с.
5. Szejtli J. Cyclodextrin Technology. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers. - 1988.- 450 p. ISBN 9789027723147
6. Nurkenov O.A., Fazylov S.D., Satpaeva Zh.B., Seilkhanov T.M., Turdybekov D.M., Mendibayeva A.Zh., Akhmetova S.B, Shulgau Z.T., Alkhimova L.E., Kulakov I.V. Synthesis, structure and biological activity of hydrazones derived from 2- and 4-hydroxybenzoic acid hydrazides // Chemical Data Collections.-2023.- Vol.48,Article101089.
DOI 10.1016/j.cdc.2023.101089.
7. Miranda J.C. Cyclodextrins and ternary complexes technology to improve solubility of poorly soluble drugs // Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences.– 2011.– Vol. 47(4). – P. 665-681.
DOI 10.1590/S1984-82502011000400003
8. Dodzink H. Cyclodextrins and their complexes: Chemistry, analytical methods, applications. – Weinheim : Willey-VCH.- 2006.-504 p. ISBN: 978-3-527-60844-7
9. Crini G. Review: A history of cyclodextrins // Chemical Reviews.- 2014.-Vol. 114(21).-P. 10940-10975.
DOI 10.1021/cr500081p
10. Bary A.R., Tucker I.G., Davies N.M. Considerations in the use of hydroxypropyl-beta-cyclodextrin in the formulation of aqueous ophthalmic solutions of hydrocortisone // European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics.- 2000.-Vol. 50(2).- P. 237-244.
DOI 10.1016/s0939-6411(00)00108-9
11. Krzysztof C., Centkowska K. Use of cyclodextrins in topical formulations: Practical aspects // European Journal of Pharmaceutical and Biopharmaceutics.- 2008. -Vol. 68.- P.467-478.
DOI 10.1016/j.ejpb.2007.08.002
12. Wuthrich K., Billeter M., Gurtert P., Luginbuhl P., Riek R., Wider G. NMR studies of the hydration of biological macromolecules // Faraday Discuss. -1996. - Vol.103. - P.245-253.
DOI 10.1039/FD9960300245
13. Castronuovo G., Niccoli M. Thermodynamics of inclusion complexes of natural and modified cyclodextrins with acetylsalicylic acid and ibuprofen in aqueous solution at 298 K // Thermochemica Acta. - 2013.- Vol. 557. - P. 44 - 49. DOI10.1016/j.tca.2013.01.037
14. Castronuovo G., Niccoli M. Thermodynamics of inclusion complexes of natural and modified cyclodextrins with propranolol in aqueous solution at 298 K // Bioorganic and Medical Chemistry. -2006.-Vol.14(11)- P.3883-3887. DOI 10.1016/j.bmc.2006.01.052
15. Qvist J., Halle B. Thermal signature of hydrophobic hydration dynamics // American Chemical Society. -2008. - Vol.130(31) - P.10345-10353. DOI 10.1021/ja802668w

References

1. Lisina S.V., Brel' A.K., Mazanova L.S., Spasov A.A. Sintez i zharoponizhajushhaja aktivnost' novyh proizvodnyh salicilovoj kisloty//Himiko-farmaceuticheskiy zhurnal.- 2008.-T.42.(10).- S.24-26. DOI 10.30906/0023-1134-2008-42-10-24-26 [in Russ.]

-
2. Belikov V.G. Sinteticheskie i prirodnye lekarstvennye sredstva. - M.: Vysshaja shkola. - 1993. - 720 s. ISBN 5-06-002985-9. [in Russ.]
 3. Mashkovskij M.D. Lekarstvennye sredstva. – M.: OOO RIA «Novaja volna». - 2012. – 1216 s. ISBN 978-5-7864-0218-7. [in Russ.]
 4. Stepanenko B.N. Himija i biohimija uglevodov: monosaharidy.- M.:Vyssh. Shkola. - 1977.- 223 s. [in Russ.]
 5. Szejtli J. Cyclodextrin Technology. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers. - 1988.- 450 p. ISBN 9789027723147
 6. Nurkenov O.A., Fazylov S.D., Satpaeva Zh.B., Seilkhanov T.M., Turdybekov D.M., Mendibayeva A.Zh., Akhmetova S.B, Shulgau Z.T., Alkhimova L.E., Kulakov I.V. Synthesis, structure and biological activity of hydrazones derived from 2- and 4-hydroxybenzoic acid hydrazides // Chemical Data Collections.-2023.- Vol.48,Article101089.
DOI 10.1016/j.cdc.2023.101089.
 7. Miranda J.C. Cyclodextrins and ternary complexes technology to improve solubility of poorly soluble drugs // Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences.– 2011.– Vol. 47(4). – P. 665-681.
DOI 10.1590/S1984-82502011000400003
 8. Dodzink H. Cyclodextrins and their complexes: Chemistry, analytical methods, applications. – Weinheim : Willey-VCH.- 2006.-504 p. ISBN: 978-3-527-60844-7
 9. Crini G. Review: A history of cyclodextrins // Chemical Reviews.- 2014.-Vol. 114(21).-P. 10940-10975.
DOI 10.1021/cr500081p
 10. Bary A.R., Tucker I.G., Davies N.M. Considerations in the use of hydroxypropyl-beta-cyclodextrin in the formulation of aqueous ophthalmic solutions of hydrocortisone // European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics.- 2000.-Vol. 50(2).- P. 237-244.
DOI 10.1016/s0939-6411(00)00108-9
 11. Krzysztof C., Centkowska K. Use of cyclodextrins in topical formulations: Practical aspects // European Journal of Pharmaceutical and Biopharmaceutics.- 2008. -Vol. 68.- P.467-478.
DOI 10.1016/j.ejpb.2007.08.002
 12. Wuthrich K., Billeter M., Gurtert P., Luginbuhl P., Riek R., Wider G. NMR studies of the hydration of biological macromolecules // Faraday Discuss. -1996. - Vol.103. - P.245-253.
DOI 10.1039/FD9960300245
 13. Castronuovo G., Niccoli M. Thermodynamics of inclusion complexes of natural and modified cyclodextrins with acetylsalicylic acid and ibuprofen in aqueous solution at 298 K // Thermochemica Acta. - 2013.- Vol. 557. - P. 44 - 49. DOI10.1016/j.tca.2013.01.037
 14. Castronuovo G., Niccoli M. Thermodynamics of inclusion complexes of natural and modified cyclodextrins with propranolol in aqueous solution at 298 K // Bioorganic and Medical Chemistry. -2006.-Vol.14(11)- P.3883-3887. DOI 10.1016/j.bmc.2006.01.052
 15. Qvist J., Halle B. Thermal signature of hydrophobic hydration dynamics // American Chemical Society. -2008. - Vol.130(31) - P.10345-10353. DOI 10.1021/ja802668w

Сведения об авторах

Фазылов С.Д. (автор-корреспондент)- академик НАН РК, доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник Института органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Караганда, Казахстан, e-mail: iosu8990@mail.ru;

Сатпаева Ж.Б. -старший преподаватель кафедры органической химии и полимеров Карагандинского университета им. Е.А. Букетова, e-mail: satpaeva_zh@mail.ru;

Нуркенов О.А.-доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией Синтез биологически активных веществ Института органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Караганда, Казахстан; e-mail: nurkenov_oral@mail.ru;

Бакирова Р.Е.- доктор медицинских наук, профессор кафедры внутренних болезней Медицинского университета Караганды, Караганда, Казахстан, e-mail: bakir15@mail.ru;

Свидерский А.К.-доктор химических наук, профессор Жезказганского университета им. О.А.Байконурова, Жезказган, Казахстан, e-mail: katsostud@rambler.ru;

Мендибаева А.Ж. - младший научный сотрудник Института органического синтеза и углехимии Республики Казахстан, Караганда, Казахстан; e-mail: anenyawa@mail.ru

Information about the author

Fazylov S.D.(Corresponding author) - Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Chief Scientific Associate of the Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: iosu8990@mail.ru;

Satpaeva Zh. - Senior Lecturer of the Department of Organic Chemistry and Polymers, Karaganda University named after Academician E.A.Buketov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: satpaeva_zh@mail.ru;

Nurkenov O.A. - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Synthesis of Biologically Active Substances of the Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: nurkenov_oral@mail.ru;

Bakirova R.E. - Doctor of Medical Sciences, Professor of Internal Medicine Department, Medical University of Karaganda, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: bakir15@mail.ru;

Sviderskiy A.K. - Doctor of Chemical Sciences, Professor of the O.A.Baikonurov Zhezkazgan University, Zhezkazgan, Kazakhstan, e-mail: katsostud@rambler.ru;

Mendibayeva A.Zh. - Junior researcher, LLP “Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry of the Republic of Kazakhstan”, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: anenyawa@mail.ru

OBTAINING CARBON NANOMATERIALS FROM SHUBARKOL COAL AND APPLICATION FOR HYDROGEN STORAGE

^{1,2,3}M.K. Kazankapova, ^{1,2}B.T. Yermagambet✉, ^{1,2}G.K. Mendaliyev, ¹A. Samatkyzy,
^{1,2}A.B. Malgazhdarova

¹«Institute of Coal Chemistry and Technology» LLP, Astana, Kazakhstan,

²L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

³Kazakh university of technology and business named after K. Kulzhanov, Astana, Kazakhstan

✉Corresponding author: e-mail: coaltech@bk.ru

This study presents a promising method for the synthesis of graphene - the electric arc discharge method. The synthesis of nanomaterials containing graphene was carried out based on carbonized coal "Shubarkol" using the electric arc discharge method at a constant voltage of 75 V and a current of 100 A in a quartz reactor. Based on Raman scattering data and analysis of electrical properties (dielectric constant and electrical resistance), it was shown that the synthesized products have a high degree of graphitization and long-range structural order (2D peak), which indicates the formation of nanomaterials containing graphene. These results present a potential route for low-cost mass production of high-quality graphene samples. In addition, the electrical resistance (R), capacitance (C) and dielectric constant (ϵ), electrical resistivity (R) and electrical conductivity (χ) of nanomaterials containing graphene were determined for the first time in the temperature range 293-483 K. The highest a degree of graphitization of 80.7% is achieved with the formation of graphene-containing material on the walls of the reactor after an arc discharge. Since the resulting nanomaterial on the reactor walls showed better results in terms of physicochemical and electrophysical properties, the material was tested for hydrogen storage. The sorption capacity of the nanomaterial for hydrogen was 35.1516 cm³/g (0.314%).

Keywords: coal, carbonized coal, carbon nanotubes, graphene, arc discharge, hydrogen, storage.

ШҰБАРКӨЛ КӨМІРІНЕН КӨМІРТЕК НАНОМАТЕРИАЛДАРЫН АЛУ ЖӘНЕ СҮТЕКТІ САҚТАУҒА ҚОЛДАНУ

^{1,2,3}М.Қ. Қазанқапова, ^{1,2}Б.Т. Ермағамбет✉, ^{1,2}Ғ.К. Мендалиев, ¹Ә. Саматқызы,
^{1,2}А.Б.Малғаждарова

¹«Көмір химиясы және технология институты» ЖШС, Астана, Қазақстан,

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

³Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

e-mail: coaltech@bk.ru

Бұл зерттеуде графен синтезінің перспективті әдісі - электр доғалық разряд әдісі ұсынылды. Құрамында графен бар наноматериалдардың синтезі кварц реакторында 75 В тұрақты кернеуде және 100 А ток кезінде электр доғалық разряд әдісін қолдану арқылы «Шұбаркөл» көмірі негізінде жүзеге асырылды. Раман шашырау деректері және электрлік қасиеттерді талдау (диэлектрлік өтімділік және электр кедергісі) негізінде синтезделген өнімдерде графиттенудің жоғары дәрежесі және алысдиапазондағы құрылымдық реті (2D шыны) бар, бұл құрамында графен бар наноматериалдардың

түзілуін көрсетеді. Бұл нәтижелер жоғары сапалы графен үлгілерін арзан жаппай өндірудің әлеуетті бағытын көрсетеді. Сонымен қатар, құрамында графен бар наноматериалдардың электрлік кедергісі (R), сыйымдылығы (C) және диэлектрлік өтімділігі (ϵ), электрлік кедергісі (R) және электр өткізгіштігі (χ) 293-483 К температура диапазонында алғаш рет анықталды. Графиттенудің ең жоғары дәрежесі 80,7% доғалық разрядтан кейін реактордың қабырғаларында графен бар материалдың пайда болуымен қол жеткізіледі. Реактор қабырғаларында алынған наноматериал физика-химиялық және электрофизикалық қасиеттері бойынша жақсы нәтиже көрсеткендіктен, материал сутегі сақтау үшін сынақтан өтті. Наноматериалдың сутегі үшін сорбциялық қабілеті 35,1516 см³/г (0,314%) құрады.

Түйін сөздер: көмір, көміртекті көмір, көміртекті нанотүтіктер, графен, доғалық разряд, сутегі, сақтау.

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ШУБАРКОЛЬСКОГО УГЛЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

^{1,2,3}М.К. Казанкапова, ^{1,2}Б.Т. Ермағамбет✉, ^{1,2}Г.К. Мендалиев, ¹А. Саматкызы,
^{1,2} А.Б. Малгаждарова

¹ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан,

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

³Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан,

e-mail: coaltech@bk.ru

В данном исследовании представлен перспективный метод синтеза графена - метод электродугового разряда. Был осуществлен синтез наноматериалов, содержащих графен, на основе карбонизованного угля «Шубарколь» с использованием метода электродугового разряда при постоянном напряжении 75 В и токе 100 А в кварцевом реакторе. На основе данных метода комбинационного рассеяния света и анализа электрофизических свойств (диэлектрической проницаемости и электрического сопротивления) было показано, что синтезированные продукты обладают высокой степенью графитизации и дальним порядком структуры (2D пик), что свидетельствует о формировании наноматериалов, содержащих графен. Эти результаты представляют потенциальный путь для дешевого массового производства высококачественных образцов графена. Кроме того, впервые были определены электрическое сопротивление (R), емкость (C) и диэлектрическая проницаемость (ϵ), удельное электрическое сопротивление (R) и удельная электропроводность (χ) наноматериалов, содержащих графен, в интервале температур 293-483 К. Самая высокая степень графитизации 80,7% достигается при образовании графенсодержащего материала на стенках реактора после дугового разряда. Поскольку полученный наноматериал на стенках реактора показал лучшие результаты по физико-химическим и электрофизическим свойствам, материал был протестирован на хранение водорода. Сорбционная емкость наноматериала по водороду составила - 35.1516 см³/г (0.314%).

Ключевые слова: уголь, карбонизованный уголь, углеродные нанотрубки, графен, дуговой разряд, водород, хранение.

Introduction. Since Sumio Iijima reported it in 1991, carbon nanotubes (CNTs) have attracted much attention from researchers and industry. CNTs can be classified into single-walled CNTs (SWNTs), double-walled CNTs (DWNTs), and multi-walled CNTs (MWNTs) depending on the number of graphite layers. They consist of sp² bonded carbon atoms arranged in a cylindrical tube ranging in length from less than 100 nm to several centimeters. The diameter of SWCNTs is typically 0.4–2 nm,

while the diameter of MWCNTs ranges from *1.4 nm to nearly 100 nm, depending on the synthesis conditions. CNTs are well known for their unique physicochemical properties, including extremely high tensile strength, high electrical conductivity, high ductility, and relative chemical inactivity. All these properties make CNT-based products attractive. Moreover, due to their low dimensionality, CNTs are also preferred for use in the development of nanocomposites. In this context, CNTs open up a new direction in materials science and nanotechnology. CNTs can be found in a wide range of applications, such as electronics, polymer composites, energy storage materials, catalysis, gas storage materials and sensors [1].

There are many methods for synthesizing nanostructures. They are usually divided into two groups: «Top bottom» is a «top-down» technology, that is, the dispersion of macroscopic bodies into nanoscale sizes, and the second group «bottom-up» is a technology the assembly of nanoparticles from atoms. There are also various hybrid methods.

One of the first methods for producing carbon nanoparticles was laser evaporation of graphite or coal, arc evaporation of graphite in the presence of a metal catalyst, chemical vapor deposition, pyrolysis, and mechanical separation [2].

Arc discharge is the oldest and most common method for producing CNM. This also makes it possible to obtain carbon formed by fullerene and soot molecules. This method is based on the electrical destruction of gas to produce plasma. It uses high temperature (over 1700°C) to evaporate carbon atoms in plasma, allowing CNMs to grow with fewer structural defects than other methods.

The chamber consists of two electrodes, one of which is the anode and the other is the cathode. The anode is filled with a mixture of graphite powder and catalyst. The catalyst promotes the growth of SWCNTs rather than MWCNTs [3]. The cathode consists of a pure graphite rod. Initially, the electrodes are held independently of each other in a gas atmosphere (usually an argon/hydrogen mixture); then the distance between the electrodes is reduced, and an electric arc is applied with an intensity of 60-100 A or 50-150 A, which

corresponds to a decrease in potential by 25 V [4, 5].

The inert gas flow is maintained at 50-600 Torr; the temperature in the interelectrode region ranges from 1700° to 4000 °C. The electrodes turn red and plasma is formed, so carbon sublimates from the positive anode, which is consumed and condenses as a filamentary carbon product at the cathode due to the temperature gradient.

Speaking about the physical and chemical properties of carbon nanotubes, CNTs are the strongest and hardest materials on earth in terms of tensile strength and elastic modulus. The planar cellular carbon atoms of graphene in CNTs are responsible for these high-strength fibers. Carbon nanotube is more rigid than steel and is very resistant to physical damage.

When you press on the end of the nanotube, it bends without damaging the tip, and when the force is removed, the tip returns to its original position. The reason they don't break is because the carbon rings of the walls change their structure when bent, but don't break. This is a unique result of sp² C-C bond hybridization and bending overhybridization. The degree of change and s-p coefficients depend on how much the bonds bend. Due to this property, CNTs can be used as very high resolution probe tips for scanning probe microscopy [6].

In the metallic state, the conductivity of nanotubes is very high. They can transmit billions of amps per square centimeter. Copper wire fails when it transmits a million amps per square centimeter because the joules of heat cause the wire to melt. Theoretically, metal nanotubes can conduct an electric current density of 10-15 A/cm², which is 1000 times greater than that of metals such as copper [7]. One of the reasons for the high conductivity of carbon nanotubes is the very small number of defects that cause electron scattering and therefore low resistance [8].

Another carbon nanomaterial that can be synthesized by an arc discharge is graphene [9-10]. Graphene is a material that has a large specific surface area (2630 m²g⁻¹), high internal mobility (200,000 cm² V⁻¹s⁻¹), high Young's modulus (~

1.0 TPa), thermal conductivity ($\sim 5000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}/\text{K}^{-1}$), optical transmittance ($\sim 97.7\%$) [11-12]. In addition to arc, there are methods of micromechanical cleavage, electrochemical exfoliation, solvent-based exfoliation [13], graphite oxide exfoliation [14] and laser evaporation. Among all these methods, arc discharge has many advantages such as low production cost, high efficiency, and the ability to be synthesized without using any catalysis [15].

In the research, multiple layers of graphene were synthesized using a homemade arc discharge chamber. Helium (He), nitrogen (N), and mixtures thereof have been used to understand the influence of the reactor atmosphere on graphene synthesis. The purity and number of graphene layers were determined using Raman spectroscopy. The purity of the synthesized graphene also depends on the diameter of the electrodes and the arc current. Thus, optimal synthesis conditions were obtained with an electrode diameter of 12 mm and an arc current of 150 A in a He+N₂ atmosphere. TEM studies revealed a crumpled texture of graphene [16].

Graphene can be doped with atoms of other elements, such as nitrogen, fluorine, hydrogen, oxygen, etc., changing its properties. All this makes it an interesting material for many applications. First of all, these are applications in opto- and nanoelectronics (touch screens, solar cells, flexible

electronic devices, high-frequency transistors, logic transistors), photonics (photodetectors, optical modulators, mode-locked lasers, THz generators and optical polarizers), composite materials, paints and coatings. Graphene is seen as a promising candidate to replace transparent indium tin oxide (ITO) electrodes. Promising applications of graphene coating include transparent heating elements and thermoacoustic transducers.

Materials and methods. In this work, carbon nanomaterials obtained by the electric arc method were studied. Activated carbon «Shubarkol» is used as an electrode. The coal carbonization process includes an initial low-temperature (at 180°C, with a heating rate of 10°C/min) treatment of the raw material in the presence of air for 1 hour, followed by carbonization in an inert atmosphere at temperatures ranging from 180-900°C with a heating rate of 5°C/min, and steam activation at the maximum temperature for 1 hour. Process parameters: constant voltage - 75 V; current – 100 A; process time ~10 min, inert gas - N₂ with a purity of 99.99%. The reactor is transparent quartz glass that can withstand high temperatures. The chamber is placed inside the water used for cooling. The principle of this method is the evaporation of carbon under reduced pressure of an inert gas. According to the method scheme, a movable anode and a stationary cathode are used, as in Fig. 1.

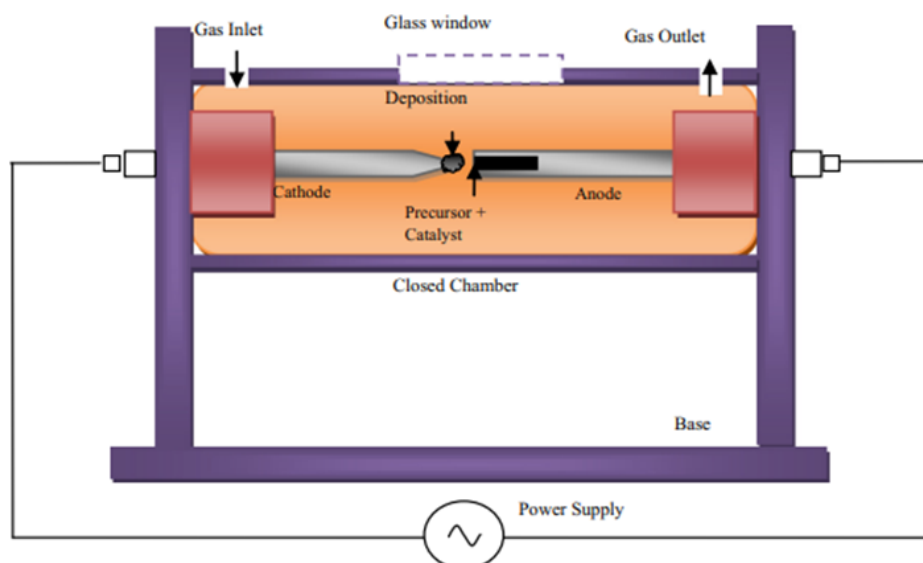


Figure 1 - Schematic diagram of an electric arc discharge

After the electric arc is ignited, the plasma ignites. Carbon nanomaterials condensed on the walls of the reactor and on the surface of the electrode. Activated carbon "Shubarkol" after an arc discharge was separated according to figure 2.

The resulting materials were tested for hydrogen storage at a high-performance

automatic physisorption and chemisorption station Micromeritics 3Flex Chemi&TCD (Made in the USA). This device is equipped with three ports, each of which has a 0.1 Torr sensor for analysis of micropores. Before measurement, all samples were preliminarily degassed using a SmartVacPrep unit (manufactured by Micromeritics, USA) equipped with a forevacuum pump.

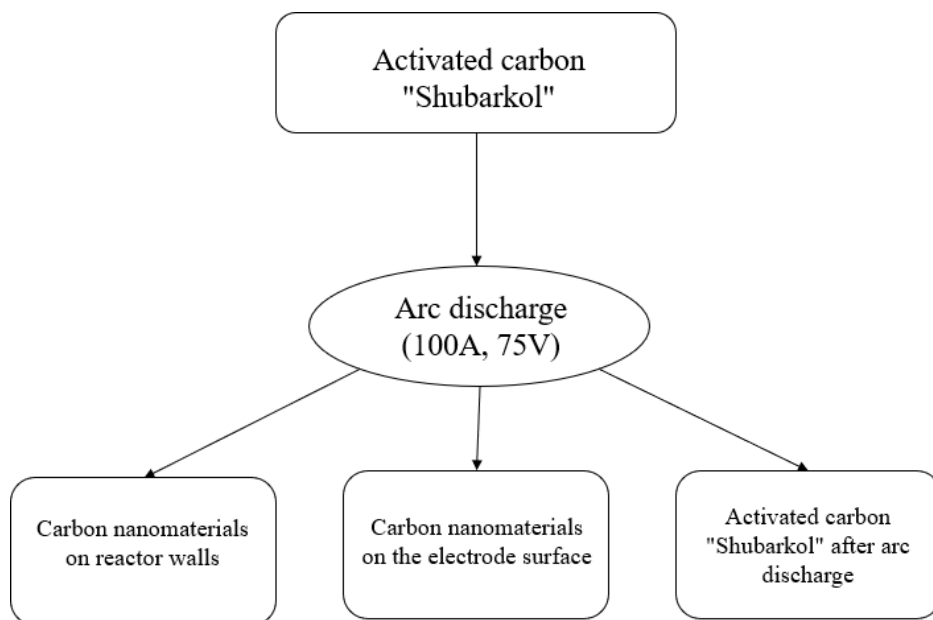


Figure 2 - Schematic diagram for producing nanomaterials using the electric arc discharge method

Adsorbate gas - hydrogen, measurement temperature - 77 K, p_0 values for all points were considered the same and equal to 760 Torr, A Peak Scientific hydrogen generator with a maximum productivity of 500 cm³/min was used as a source of hydrogen, Water in the hydrogen generator was used from a Thermo Scientific deionizer, Readout points started from a value of 0.0001 p/p_0 to 0.995 p/p_0 . The measurement of free space or void volume was carried out after analysis with helium in order to avoid premature filling of micropores with helium.

Due to the smaller radius and transverse radius of the hydrogen molecule, the specific surface area and porosity values will be higher compared to nitrogen sorption. Classical BET methods in the case of H₂ will be incorrect since the saturation pressure value was used as a constant (760 Torr). To calculate the pore distribution, the theoretical hydrogen sorption model DFT HS H₂ Carbon, heterogeneous,

taking into account the heterogeneity of the carbon surface. For most samples, this model showed good consistency. The limitation of nitrogen to fill pores with a radius of less than 0.35 nm was also taken into account.

Results and discussion. The obtained materials were studied by SEM and Raman spectroscopy. As a result, the original «Shubarkol» coal contained different agglomerates ranging from 719 nm to 231.97 μm, as shown in Fig. 3. The degree of graphitization is $G_f = 29.6\%$ and peaks at 1258.3 are noticeable; 1374.9; 1535.1; 1594.3; 2704.9; 2928.6 cm⁻¹. $I(D)/I(G)=0.6$ $I(G)/I(2D)=12.2$. The intensity of peak D at 1374.9 cm⁻¹ is lower than peak G at 1594.3 cm⁻¹, and peak G at 1594.3 cm⁻¹ is much higher than peak 2D at 2704.9 cm⁻¹ (Figure 4), this explains that the material is amorphous carbon. There may be polymer chains or other impurities, as indicated by the luminescent trend.

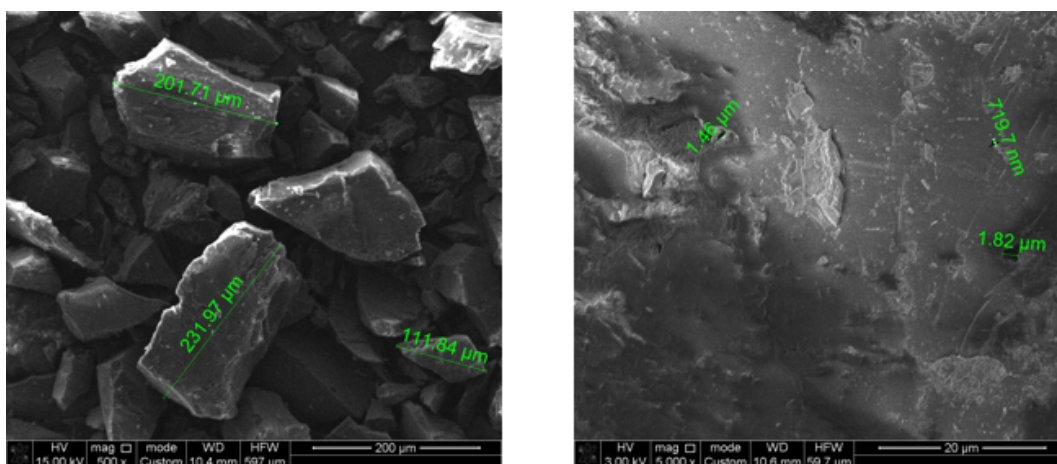


Figure 3 - SEM of the original coal «Shubarkol»

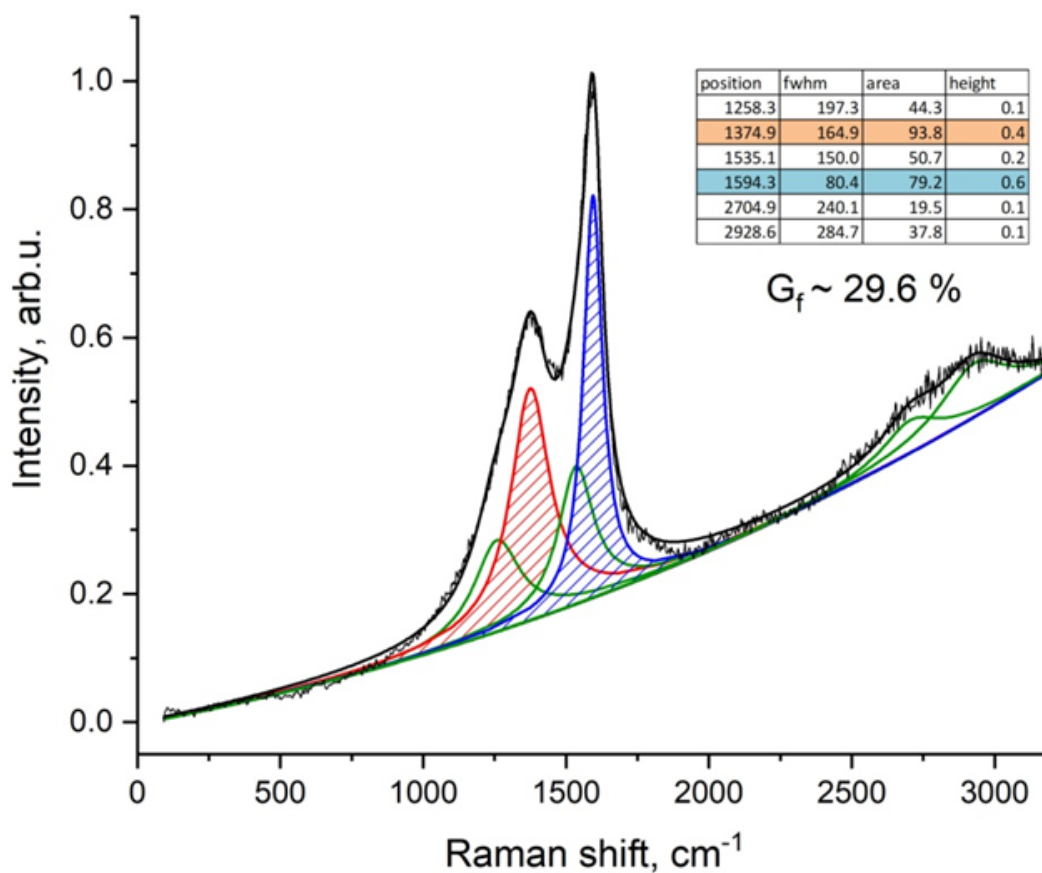


Figure 4 - Raman spectroscopy of the original coal «Shubarkol»

After activation of Shubarkol coal, SEM images show that agglomerates of different elements were removed. Pores are noticeable, with sizes ranging from 155 nm to 33.08 μm . During the carbonization process, mineral agglomerates opened, as shown in Fig. 5 by white spots. Peaks at 1194.4 are visible in the Raman spectrum; 1347.9; 1517.1; 1595.4;

2700.7; 2914.0 cm^{-1} . The degree of graphitization after the activation process dropped to $G_f=24\%$, this is explained by the fact that peak D 1347.9 cm^{-1} increased its intensity (Figure 6). $I(D)/I(G)=0.9$ $I(G)/I(2D)=13.1$. Amorphous carbon with signs of graphitization - a narrow peak G, as well as a weak manifestation of a second-order peak - 2D.

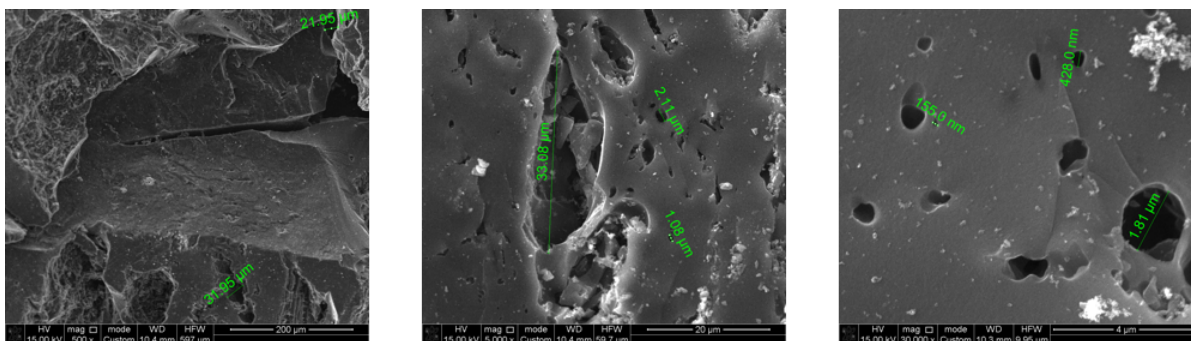


Figure 5 - SEM image of activated carbon «Shubarkol»

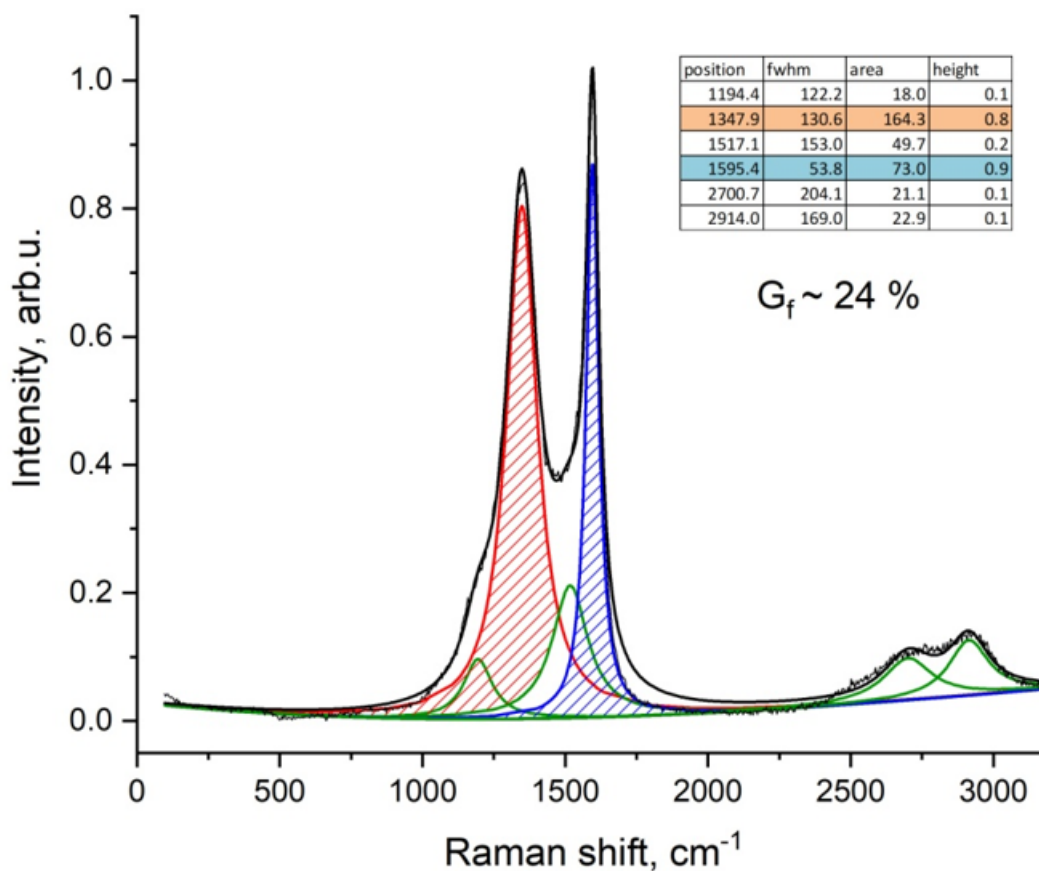


Figure 6 - Raman spectroscopy of activated carbon «Shubarkol»

After the arc discharge, we see deformation of the pores in SEM images. The pores have become smaller and range from 159.9 nm to 1.83 µm. The formation of micro- and mesopores is assumed. White flake-like spots are visible on the surface (Figure 7). As you can see in Fig. 8 there are peaks at 1363.7(D); 1465; 1582.5(G); 2448.5; 2725.9(2D); 2959 cm⁻¹. According to the Raman spectroscopy data, the «Shubarkol» activated carbon after an arc

discharge on the reactor walls has a high degree of graphitization $G_f = 80.7\%$. Compared with activated carbon, peak D shows a weaker intensity, and peak 2D shows a more prominent intensity. $I(D)/I(G)=0.1$, $I(G)/I(2D)=2.9$. As a result, it can be said from the surface of the «Shubarkol» activated carbon that after an arc discharge, graphene structures of high quality and small thickness were formed on the walls of the reactor.

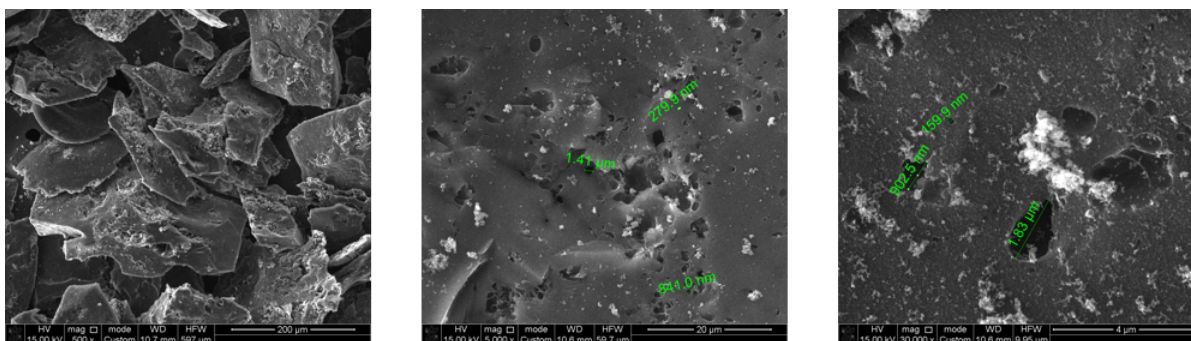


Figure 7 - SEM image of «Shubarkol» activated carbon after an arc discharge on the walls of the reactor (100A, 75B)

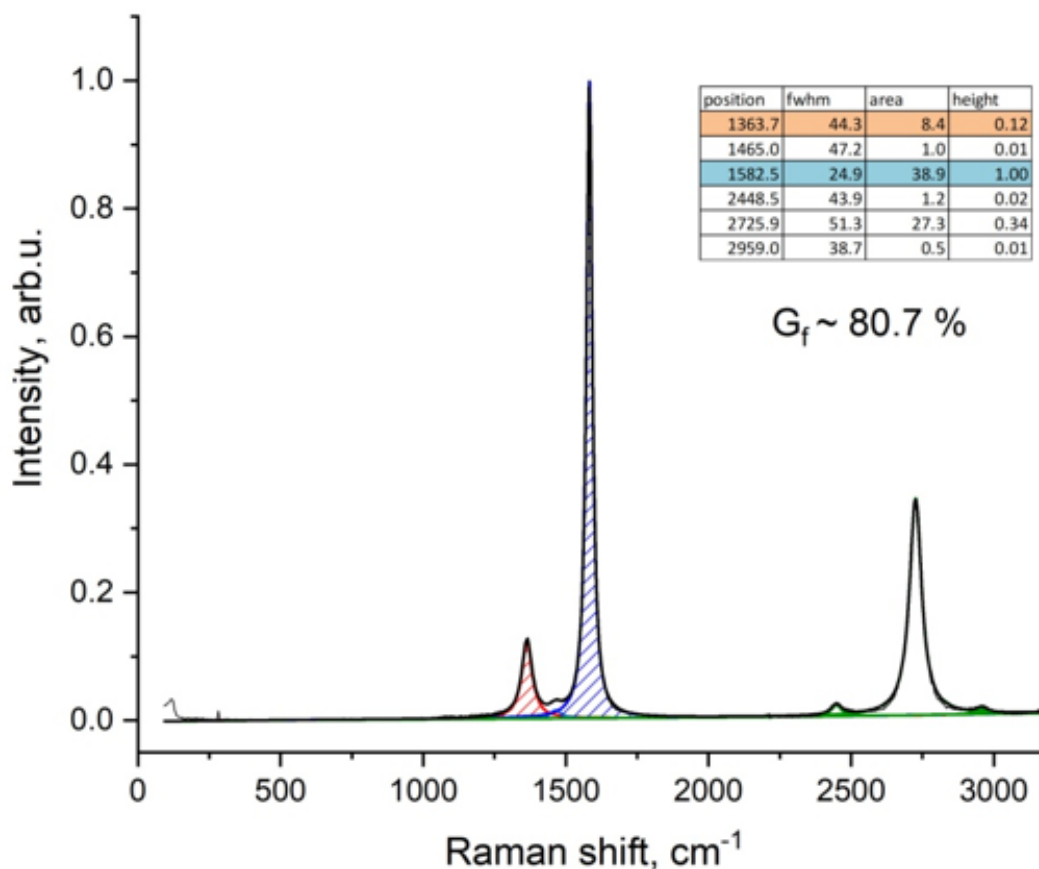


Figure 8 - Raman spectroscopy of «Shubarkol» activated carbon after an arc discharge on the walls of the reactor (100A, 75B)

After an arc discharge, layers of graphene are visible on the surface of the Shubarkol coal, according to the SEM image. Nanomaterials ranging in size from 67.3 nm to 467.9 nm were formed. Pore deformations are noticeable (Fig. 9). It is assumed that layers of graphene have grown together on the surface of the pores. In the

Raman peaks at 1228.8 are noticeable; 1355.3(D); 1476.6; 1577.4(G); 2435.4; 2714.5(2D); 2935 cm^{-1} . $I(D)/I(G)=0.3$ $I(G)/I(2D)=2.8$ From these data we can say that on the surface of the Shubarkol activated carbon after an arc discharge on the surface of the electrode there are graphene-like structures of varying degrees of defects (Fig. 10).

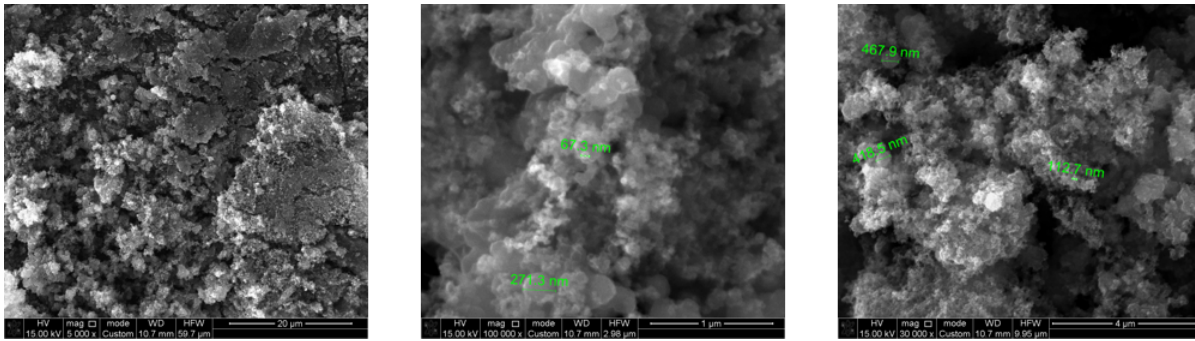


Figure 9 - SEM image of activated carbon «Shubarkol» after an arc discharge on the surface of the electrode (100A, 75B)

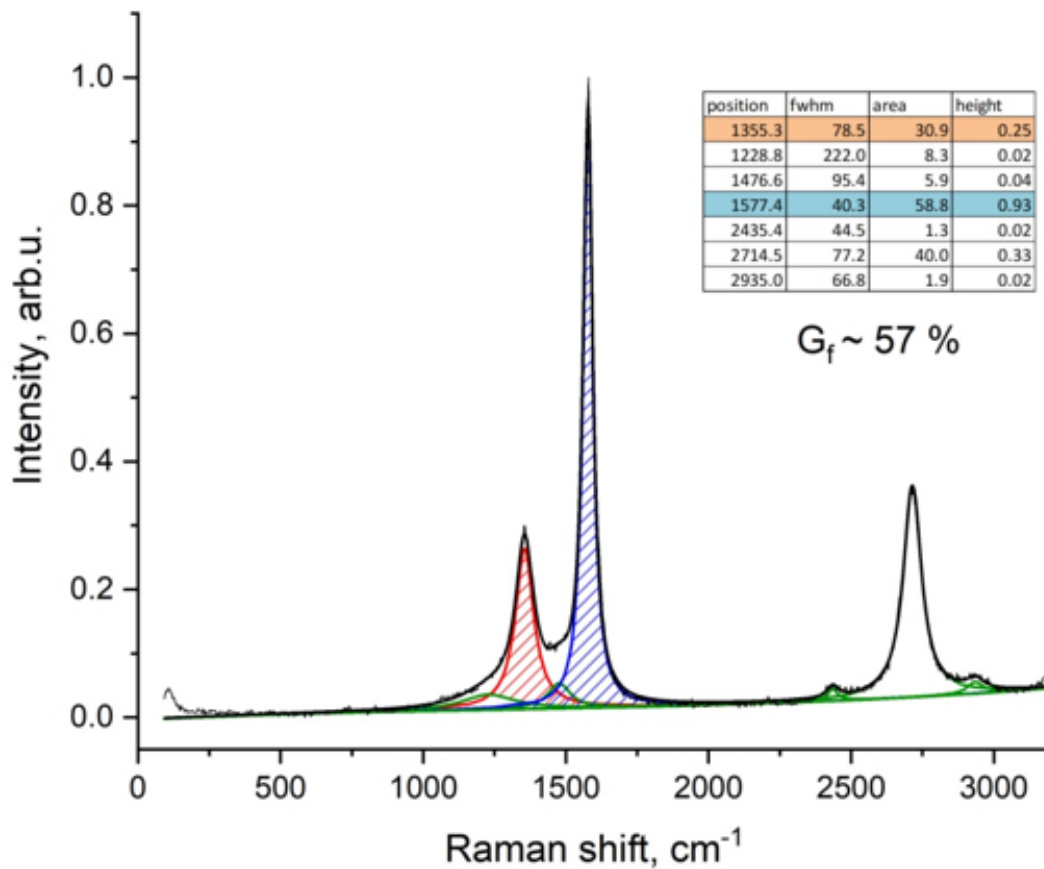


Figure 10 - Raman spectroscopy of activated carbon «Shubarkol» after an arc discharge on the surface of the electrode (100A, 75B)

SEM images (Figure 11) of crushed Shubarkol coal used as an electrode show nanodots of different diameters. The dots start from 29.5 nm to 8.95 µm. Peaks at 1249.1 are visible in the Raman distribution; 1357.4(D); 1472.6; 1584.6(G); 2459.1; 2725.3(D); 2937.4 cm⁻¹. I(D)/I(G)=0.4 I(G)/I(2D)=1.8. Graphene-like structures of varying degrees of defects and thickness.

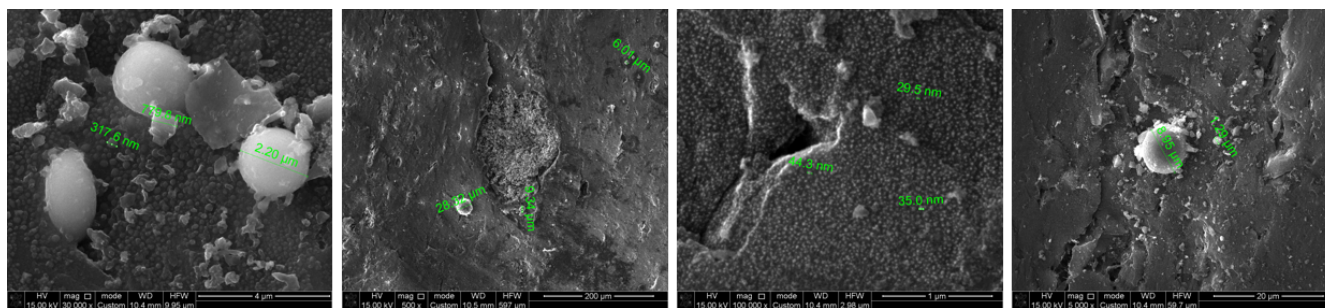


Figure 11 - SEM image of «Shubarkol» activated carbon after an arc discharge (100A, 75B)

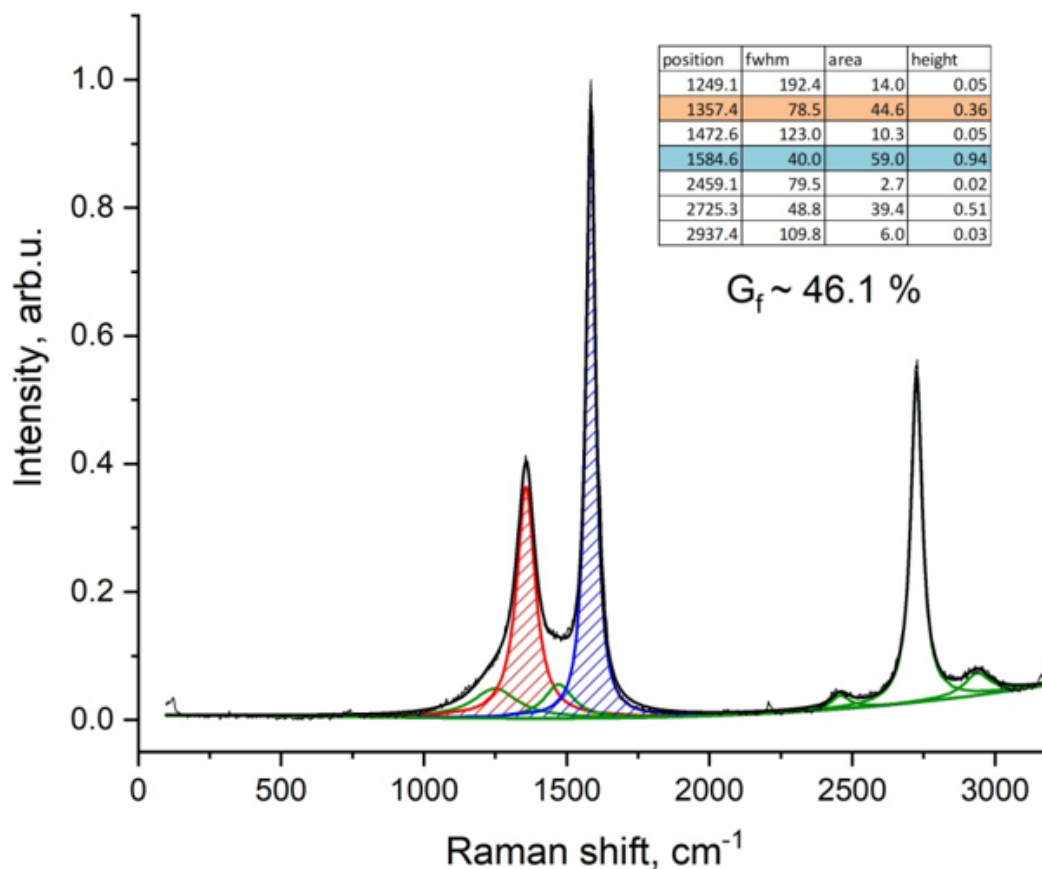


Figure 12 - Raman spectroscopy of «Shubarkol» activated carbon after an arc discharge (100A, 75B)

It is known that the 2D band of Raman spectra is more sensitive to the overlay of graphene sheets. From the Raman scattering data (Raman effect), the intensities of the D, G and 2D peaks were calculated. It is immediately noticeable that after activation the G peak increased its intensity from 0.6 to 0.9. After the arc discharge, peak D loses its intensity, and peak 2D increased its intensity from 0.1 to 0.51. The intensity ratios I_{2D}/I_G for one-, two-,

three- and multilayer (> 4) in these materials were shown to vary from 0.11 to 0.54. And the ratio of I_G/I_{2D} peaks after arc treatment is from 1.84 to 2.94, which confirms the formation of two to three layer graphene (for single-layer graphene the ratio is 0.6-1). The Raman spectrum of the material with the lowest degree of crystallization contains a strong D-band and a broad and weak G-band, and their high

Table 1 - Ratio of D G and 2D peaks in materials obtained from Shubarkol coal

intensity ratio (ID/IG) confirms the strong disorder of the structure. Based on the intensity ratio of the ID/IG bands after an arc discharge, which ranges from 0.12 to 0.38, it can be argued that there are a small number of material defects. Based on these data, we can say that we have obtained modern carbon materials of very good quality.

Elements	Source coal «Shubarkol»		Activated carbon «Shubarkol»		Activated carbon «Shubarkol» After arcing (on the walls of the reactor)		Activated carbon «Shubarkol» after arc discharge (on the surface of the electrode)		Activated carbon «Shubarkol» after an arc discharge (crushed electrode)	
	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%	Wt%	At%
C	77,15	82	90,35	92,92	87,21	90,40	71,70	85,89	83,49	90,83
O	22,24	17,74	8,57	6,62	11,75	9,15	6,51	5,86	7,84	6,40
Al	0,4	0,19	0,35	0,16	0,36	0,16	2,04	1,09	0,6	0,29
Si	0,07	0,03	0,11	0,05	0,19	0,08	7,68	3,94	0,44	0,21
Ca	-	-	0,29	0,09	0,25	0,08	0,25	0,09	1,41	0,46
Mg	-	-	0,11	0,05	-	-	0,18	0,11	0,49	0,26
Na	-	-	0,12	0,06	0,25	0,13	-	-	0,40	0,22
S	-	-	0,11	0,04	-	-	0,20	0,09	0,46	0,19
Fe	0,15	0,03	-	-	-	-	11,42	2,94	4,87	1,14

Table 2 - Elemental composition of the initial, activated and after arc discharge of Shubarkol coal

Name	I(D)	I(G)	I(2D)	I(D)/I(G)	I(G)/I(D)	I(G)/I(2D)	I(2D)/I(G)
Source coal "Shubarkol"	0,4	0,6	0,1	0,67	1,5	6	0,17
Activated carbon "Shubarkol"	0,8	0,9	0,1	0,89	1,12	9	0,11
After an arc discharge (on the reactor walls)	0,12	1	0,34	0,12	8,33	2,94	0,34
After an arc discharge (on the surface of the electrode)	0,25	0,93	0,33	0,27	3,72	2,8	0,35
After an arc discharge (crushed electrode)	0,36	0,94	0,51	0,38	2,61	1,84	0,54

Based on the elemental composition, we can say the activation process. In addition, the oxygen that the original Shubarkol coal contains 77.15% concentration decreased from 22.24% to 8.57% carbon; this figure increased to 90.35% after and minerals such as calcium and magnesium

were discovered and accounted for Ca-0.29% and Mg-0.11% of the total mass. Also noticeable is the low concentration of sodium and sulfur after the activation process (Na-0.12%, S-0.11%). Some elements, such as aluminum and silicon, did not change much after activation (Al-0.35%, Si-0.11%), and iron completely disappeared from the surface of Shubarkol coal during activation. Analysis of the elemental composition shows that activated carbon after electric arc contains 71.70-87.21% C 6.51-11.75% O. In addition to carbon and oxygen, CNM on the reactor walls contains small amounts of aluminum, silicon, calcium and sodium (Al-0.36% , Si-0.19%, Ca-0.25%, Na-0.25%). On the surface of the electrode there are elements such as aluminum, silicon, calcium, magnesium, sulfur and iron (Al-2.04%, Si-7.68%,

Ca-0.25%, Mg-0.18%, S-0.2%, Fe-11.42%). The crushed electrode has different concentrations of aluminum, silicon, calcium, magnesium, sodium, sulfur and iron (Al-0.6%, Si-0.44%, Ca-1.41%, Mg-0.49%, Na- 0.4%, S-0.46%, Fe-4.87%). The highest indicator of aluminum, silicon, and iron was shown by activated carbon after an arc discharge on the walls of the reactor, and for magnesium, calcium, sodium and sulfur, the highest concentration was activated carbon after an arc discharge, crushed electrode.

As can be seen in Fig. 13 The original Shubarkol coal does not exhibit semiconductor properties, the dielectric constant over the entire temperature range under study is very low and this material is not of electrical interest.

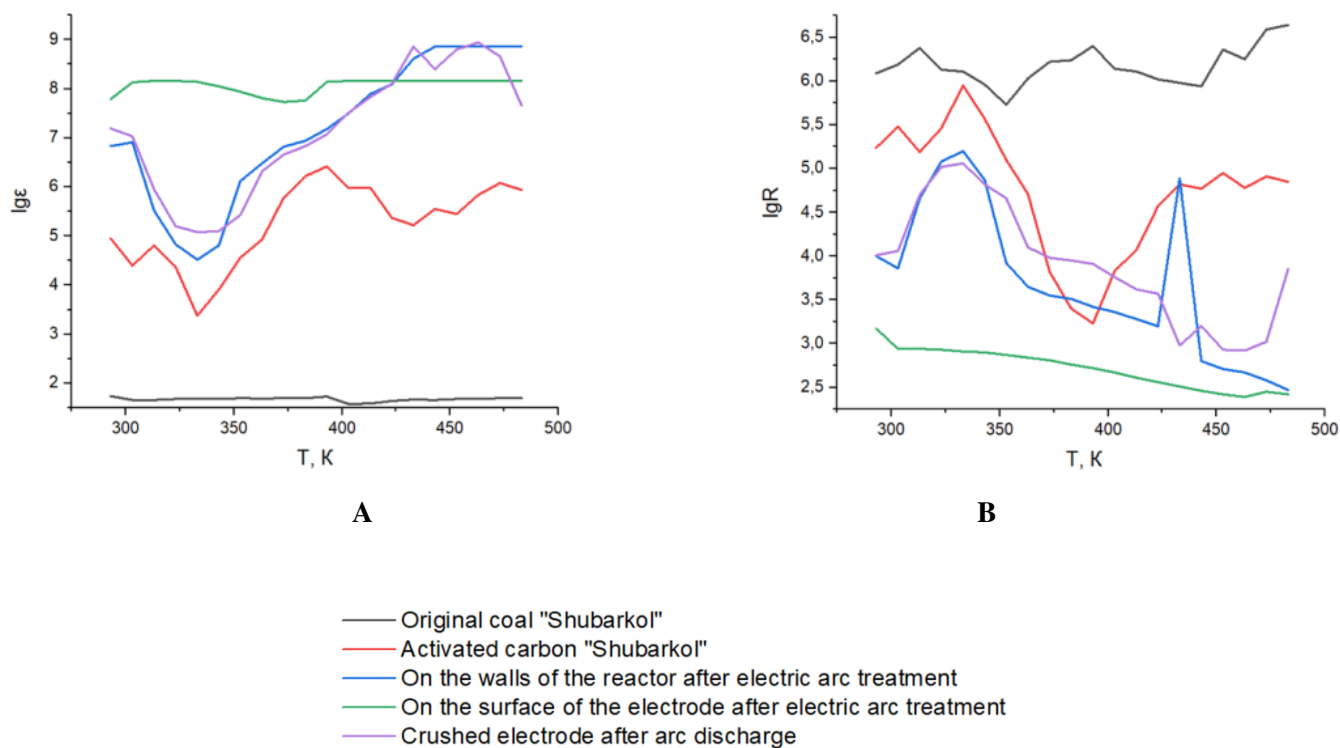


Figure 13 - Dependence of dielectric constant (A) and electrical resistance (B) on temperature at a frequency of 1 kHz

Activated carbon «Shubarkol» shows that the dielectric constant of this material has mainly average values. The maximum value of ϵ is achieved at 393 K – $2.62 \cdot 10^6$ (1 kHz), $7.23 \cdot 10^5$ (5 kHz) and $3.73 \cdot 10^5$ (10 kHz). A study of the temperature

dependence of electrical resistance shows that activated carbon exhibits variable conductivity in the range of 293-333 K, semiconductor conductivity at 333-393 K, metallic conductivity at 393-453 K, and variable conductivity at 453-483 K.

Activated carbon "Shubarkol" after an arc discharge obtained on the walls of the reactor at 293 K exhibits a high value of ϵ ($6.77 \cdot 10^6$) - 1 kHz, $3.72 \cdot 10^5$ - 5 kHz and $1.08 \cdot 10^5$ - 10 kHz and reaches colossal values at 443 - 483 K $7.20 \cdot 10^8$ and more (1 kHz), $2.50 \cdot 10^8$ (5 kHz and 483 K) and $8.41 \cdot 10^7$ (10 kHz and 483 K). A study of the temperature dependence of the electrical resistance of material III shows variable conductivity in the range of 293-333 K, semiconductor conductivity at 333-423 K, and semiconductor conductivity again at 433-483 K.

Activated carbon «Shubarkol» after an arc discharge obtained on the surface of the electrode already at lower temperatures of 293 and 343 shows gigantic values of dielectric constant $6.16 \cdot 10^7$ (1 kHz), $2.90 \cdot 10^6$ (5 kHz) and $2.45 \cdot 10^6$ (10 kHz) at 313 K and starting from 403 K at 1 kHz is also ϵ greater than $1.44 \cdot 10^8$ and colossal values

of ϵ are maintained (albeit with a decrease) at frequencies of 5 and 10 kHz. Activated carbon «Shubarkol» after an arc discharge (on the surface of the electrode) in the range of 293-463 K exhibits semiconductor conductivity, and at 463-483 K - mixed conductivity.

According to the temperature dependence of the dielectric constant of Activated carbon «Shubarkol» after an arc discharge, the crushed electrode shows that already at 293 K it shows a gigantic value at a frequency of 1 kHz and at frequencies of 5 and 10 kHz high values of dielectric constant: $1.56 \cdot 10^7$ (1 kHz), $9.83 \cdot 10^5$ (5 kHz) and $2.78 \cdot 10^5$ (10 kHz). The colossal value of ϵ is achieved at 463 K and 1 kHz ($8.63 \cdot 10^8$). The temperature dependence of electrical resistance in the range of 293-333 K exhibits metallic conductivity, at 333-433 K - semiconductor conductivity, and at 433-483 K - variable conductivity.

Table 3 - Dependence of dielectric constant (ϵ) on temperature at different frequencies

Name of material	The dielectric constant (ϵ)					
	at 1 kHz		at 5 kHz		at 10 kHz	
	293	483	293	483	293	483
BaTiO3	1296	2159	1220	2102	561	2100
Graphite	6,07*	7,19*<	4,04*	2,56*	1,15*	8,70*
On the walls of the reactor	6770953	719702040<	371895	249796682	107561	84141207
On the surface of the electrode	61630141	143940408<	2898125	69699521	2453921	22287956
Crushed electrode	15614812	45948829	982576	2055749	277845	601308

As shown in Table 3, dielectric constant is inversely proportional to frequency. Materials after an arc discharge increased their dielectric constant. The most optimal indicator for activated carbon after an arc discharge is obtained on the walls of the reactor. For comparison, we gave the example of graphite and the resulting materials have a similar dielectric constant. The band gap of the resulting materials can be classified as narrow-gap semiconductors. Activated carbons after arc processing are of interest for semiconductor and microcapacitor technology.

Since the nanomaterial obtained on the walls of the reactor showed the best results in terms of physicochemical and electrophysical properties, the material was tested for hydrogen storage. The specific surface area according to Langmuir theory is $112.27 \text{ m}^2/\text{g}$, and according to BET - $104,08 \text{ m}^2/\text{g}$. For the case of 77 K, it is also possible to determine the specific surface area and pore distribution using DFT methods for carbon materials: total area in pores ($\geq 2,91 \text{ \AA}$) - $1\,099,971 \text{ m}^2/\text{g}$ (H_2). Based on these data, the percentage of absorbed hydrogen on the adsorbent was calculated. Nonmaterial on

the walls of the reactor absorbed 0.314% (35.1516 cm³/g) of the total mass.

Conclusions. When conducting an experiment using an electric arc discharge at a high current of 100 amperes, graphene and materials containing graphene are formed both on the walls of the reactor and in the electrode itself. The optimal degree of graphitization of 80.7% is achieved when graphene-containing material is formed on the walls of the reactor after an arc discharge. The method of producing graphene through electric arc discharge is promising and provides high purity and a minimum number of defects in the product. It has many advantages such as low cost, high efficiency and catalyst-free synthesis. This method is easily scalable from laboratory conditions to industrial processes.

The use of graphene in various industries such as batteries, capacitors and composite materials will help solve environmental problems. Graphene has unique physical properties that make it attractive to researchers and engineers. Some experts believe that graphene could replace silicon transistors in the

future due to its cost-effectiveness and speed.

The environmental aspect of the method lies in the ability to use coal and carbon products to produce graphene, which will avoid the use of chemical compounds and reagents. Thanks to this, environmentally friendly technology with high added value of products is created.

Thus, the study made it possible to obtain important data on the dynamics of the process of hydrogen adsorption on a porous carbon material, its speed and efficiency. These results can be useful in the development and optimization of hydrogen adsorption processes for various industrial and scientific applications.

Financing: *The research was carried out with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AR19577512. Development of scientific and technical foundations for the production of microporous carbon nanomaterials for the separation and storage of hydrogen).*

References

1. Jia X., Wei F. Advances in production and applications of carbon nanotubes // Single-Walled Carbon Nanotubes: Preparation, Properties and Applications. - 2019. - P. 299-333. DOI 10.1007/s41061-017-0102-2
2. Shmalko V.M., Keush L. G. Zelenskiy O.I. Nanomaterialy iz uglya i produktov ego piroliza // Dnepr. Lira. - 2018. - 142 s. ISBN 978-966-981-030-4 (In Russian)
3. Janas D., "Perfectly imperfect: a review of chemical tools for exciton engineering in single-walled carbon nanotubes," Materials Horizons. - 2020. - V.7. - No.11. - P. 2860 - 2881. DOI 10.1039/D0MH00845A
4. Kukovecz Á., Kozma G., and Kónya Z. "Multi-Walled Carbon Nanotubes," in Springer handbook of nanomaterials, Springer, Berlin, Heidelberg. - 2013. - P. 147-188. DOI 10.1007/978-3-642-20595-8_5
5. Mubarak N., Abdullah E., Jayakumar N., Sahu J. An overview on methods for the production of carbon nanotubes // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. - 2014. - V. 20(4). - P. 1186- 1197. DOI 1197. DOI 10.1016/j.jiec.2013.09.001
6. Osmani R.M, Kulkarni A.S, Aloorkar N.H, Bhosale R.R, Ghodake P.P, Harkare B.R Carbon nanotubes: an impending carter in therapeutics // Int J Pharmaceut Clin Res. - 2014. - V. 6(1) - P.84-96.
7. Hong, S., Myung, S. A flexible approach to mobility // Nature Nanotech 2. - 2007. - P. 207-208. DOI 10.1038/nano.2007.89

-
8. Diachkov P.N. Elektronnyye svoystva i primeneniye nanotrubok. – Izd-vo: Binom. Laboratoriya znaniy. – 2014. – 488 s. ISBN: 978-5-9963-0154-6 (In Russian)
9. Cotul U., Parmak E.D., Kaykilarli C., Saray O., Uzunsoy D., Colak O. Development of High Purity // Few-Layer Graphene Synthesis by Electric Arc Discharge Technique. - 2018. - V. 134. –P. 289-291. DOI 10.12693/aphyspola.134.289
10. Nan Li, Zhiyong Wang, Zujin Shi. Synthesis of Graphenes with Arc-Discharge Method // Physics and Applications of Graphene – Experiments.- 2011.-P.23-35.DOI 10.5772/14961
11. Yu X., Tang Z., Sun D. et al. Recent advances and remaining challenges of nanostructured materials for hydrogen storage applications// Prog. Mater. Sci. - 2017. - V. 88. - P. 1- 48.
DOI 10.1016/j.pmatsci.2017.03.001
12. Stoller M.D., Park S., Zhu Y. et al. // Graphene-Based Ultracapacitors // Nano Lett. - 2008. - Vol. 8(10) - P. 3498-3502. DOI 10.1021/nl802558y.
13. Khan, U., O'Neill, A., Lotya, M., De, S. and Coleman, J.N. High-Concentration Solvent Exfoliation of Graphene // Small. -2010.- V.6. - P.864-871. DOI10.1002/sml.200902066
14. Gao W.. The Chemistry of Graphene Oxide, Eds. W. Gao, Springer, Switzerland. -2015.-P. 61-95. DOI 10.1007/978-3-319-15500-5_3
15. Li N. et al. Large scale synthesis of N-doped multi-layered graphene sheets by simple arc-discharge method // Carbon.- 2010.- Vol. 48 (1)- P.255-259. DOI 10.1016/j.carbon.2009.09.013.
16. Çotul U. et al. Development of high purity, few-layer graphene synthesis by electric arc discharge technique // Acta Physica Polonica A.- 2018.-Vol.134 (1)- P.289-291.
DOI 10.12693/APhysPolA.134.289.

Information about the authors

Kazankaпova M.K. -PhD in Philosophy, assoc. professor, member correspondent of the 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 Science, Professor, Academician of the KazNANS, Project Manager, Chief Researcher, Director of LLP "Institute of Coal Chemistry and Technology", Astana, Kazakhstan, e-mail: bake.yer@mail.ru;

Mendaliyev G.K.-master student Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: ganimen@mail.ru;

Samatkyzy A.- laboratory assistant "Institute of Coal Chemistry and Technology" LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: akshekina11@mail.ru;

Malgazhdarova A.B.-master student Eurasian National University of L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan, e-mail: malgazhdarova.ab@mail.ru

Сведения об авторах

Казанкапова М.К. -PhD философских наук, 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: bake.yer@mail.ru;

Мендалиев Г.К.- магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана,

Казахстан, e-mail: ganimen@mail.ru;

Саматкызы А.-лаборант ТОО «Институт химии угля и технологии», Астана, Казахстан, e-mail: akshekina11@mail.ru;

Малгаждарова А.Б.- магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: malgazhdarova.ab@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЯ И ПРОДУКТОВ ЕГО ПИРОЛИЗА

^{1,2}Н.У. Нурғалиев✉, ¹Ж.Б. Исақова✉, ³А. Колпек, ¹Е.К. Айбульдинов✉, ³А.С. Сабитов, ³Э.Е. Копишев, ^{1,4}Р.М. Салихов, ^{1,4}М.С. Петров, ¹Г.Ж. Алжанова, ^{1,5}Г.Г. Абдиюсупов, ^{1,6}М.Т. Өмірзақ

¹Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

²Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,

³Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

⁴ООО «ТТУ ЛТД», Санкт-Петербург, Россия,

⁵CCS Services – Central Asia, Алматы, Казахстан,

⁶Sauda Exports&Import, Алматы, Казахстан

✉Корреспондент-автор: nurgaliev_nao@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru, elaman_@mail.ru

В статье проведен низкотемпературный пиролиз угля месторождения «Сарыадыр» с определением физико-химических свойств угля и продуктов его термической деструкции. Выполнены элементный анализ угля и анализ минеральной части угля. Проведены 6 параллельных опытов процесса низкотемпературного пиролиза угля, в результате которых определены выходы таких продуктов, как полукокс, смола, горючий газ, а также определены их основные характеристики (компонентный состав, теплотворная способность и др.). При этом сходимость результатов (от 6 опытов) вполне удовлетворительна. Проведен тепловой баланс пиролиза угля с учетом усредненных выходов продуктов.

Ключевые слова: уголь, пиролиз, полукокс, смола, горючий газ, тепловой баланс

КӨМІРДІҢ ЖӘНЕ ОНЫҢ ПИРОЛИЗ ӨНІМДЕРІНІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

^{1,2}Н.У. Нурғалиев✉, ¹Ж.Б. Исақова✉, ³А. Колпек, ¹Е.К. Айбульдинов✉, ³А.С. Сабитов, ³Э.Е. Копишев, ^{1,4}Р.М. Салихов, ^{1,4}М.С. Петров, ¹Г.Ж. Алжанова, ^{1,5}Г.Г. Абдиюсупов, ^{1,6}М.Т. Өмірзақ

¹Жаңа химиялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

²Қ.Құлажанов атындағы технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

⁴ООО «ТТУ ЛТД», Санкт-Петербург, Россия,

⁵CCS Services – Central Asia, Алматы, Қазақстан,

⁶Sauda Exports&Import, Алматы, Қазақстан,

e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru, elaman_@mail.ru

Мақалада көмірдің физика-химиялық қасиеттерін және оның термиялық деструкция өнімдерін анықтай отырып, "Сарыадыр" кен орнының төмен температуралы көмір пиролизінің жүргізілуі кел-

тірілген. Көмірдің элементтік талдауы және көмірдің минералды бөлігінің талдауы берілген. Көмірдің төмен температуралы пиролиз процесінің 6 параллель тәжірибесі жүргізілді, нәтижесінде жартылай кокс, шайыр, жанғыш газ сияқты өнімдердің шығымы анықталды, сондай-ақ олардың негізгі сипаттамалары (компоненттік құрамы, калориялық құндылығы және т.б.) анықталды. Сонымен қатар, нәтижелердің тоғысуы (6 тәжірибеден) айтарлықтай қанағаттанарлық. Өнімдердің орташа шығымдылығын ескере отырып, көмір пиролизінің жылу балансы жүргізілді.

Түйін сөздер: көмір, пиролиз, жартылай кокс, шайыр, жанғыш газ, жылу балансы

STUDY OF PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF COAL AND ITS PYROLYSIS PRODUCTS

^{1,2}N.U. Nurgaliyev✉, ¹Zh.B. Iskakova✉, ³A. Kolpek, ¹Ye.K. Aibuldin✉,
^A³.S. Sabitov, ³E.Ye. Kopishev, ^{1,4}R.M. Salikhov, ^{1,4}M.S. Petrov, ¹G.Zh. Alzhanova,
^{1,5}G.G. Abdiyussupov, ^{1,6}M.T. Omirzak

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,

³L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

⁴ TTU LTD, St. Petersburg, Russia,

⁵CCS Services – Central Asia, Almaty, Kazakhstan,

⁶Sauda Exports&Import, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: nurgaliyev_nao@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru, elaman_@mail.ru

In the article low-temperature pyrolysis of coal of “Saryadyr” deposit with determination of physical and chemical properties of coal and products of its thermal destruction is carried out. Elemental analysis of coal and analysis of mineral part of coal were carried out. 6 parallel experiments of the process of low-temperature pyrolysis of coal were carried out, as a result of which the yields of such products as semi-coke, tar, combustible gas were determined, as well as their main characteristics (component composition, calorific value, etc.) were determined. The convergence of the results (from 6 experiments) is quite satisfactory. The thermal balance of coal pyrolysis was carried out taking into account the average yields of products.

Keywords: coal, pyrolysis, semi-coke, tar, combustible gas, heat balance.

Введение. Топливо-энергетические ресурсы являются основой экономики Казахстана, среди которых особо выделяются нефть, уголь, газ. Казахстан входит в топ-10 стран по доказанным запасам угля (около 2,4% мировых запасов), где 2/3 приходится на бурый уголь, 1/3 – на каменный уголь.

Будучи ценным горючим ископаемым, уголь остается мировым лидером по использованию в топливо-энергетическом комплексе и применяется для получения металлургического кокса, смолы, углеродных материалов, гуминовых

кислот, сырья для химической промышленности (бензол, толуол, ксилол и др.) [1-3]. Из угля извлекают высокоценные жидкие и газообразные топлива с полным использованием структуры и реакционной способности угля [4,5].

Для эффективного использования угля важно понимать структуру угля. Органическую структуру угля принято считать сложным полимером с высокой степенью сшивки, включающим ароматические и алифатические компоненты [6], [7]. Имеются существенные различия в органическом строении углей разной степени метаморфизма

[8], а также очевидные различия в промышленном применении. Тщательное знание структуры угля различной степени метаморфизма необходимо для эффективного использования угольных ресурсов.

В настоящее время среди существующих методов термопереработки угля пиролиз является наиболее перспективным и исследуемым термическим направлением переработки таких отходов, как низкосортные угли, нефтешламы и др. [9]. Пиролиз представляет собой общую стадию многих процессов, таких как сжигание, сжижение, карбонизация, газификация, которые обычно работают в тесных системах в инертной, восстановительной или окислительной атмосфере при различных давлениях и времени пребывания [10]. Среди ценных продуктов (получаемых из угля) каменноугольная смола является основным продуктом пиролиза и может использоваться в качестве важного сырья для получения олефинов [11,12], ароматических соединений с добавленной стоимостью [13], и материалов на основе каменноугольной смолы [11].

Целью данной работы является исследование процесса низкотемпературного пиролиза (полукоксование) угля месторождения «Сарыадыр» (Казахстан) с определением физико-химических свойств угля и продуктов его 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.

Для проведения процесса 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. Определение компонентного состава газа, полученного в результате пиролиза угля, проводили на хроматографе ЛХМ-8 МД.

Таблица 1 - Режим нагрева навески угля

Время от начала нагревания мин.	Температура, 0С
10	220
20	310
30	380
40	440
50	480
60	505
70	520
80	520

Результаты и обсуждение.

3.1 Характеристика исходного угля. Результаты анализа исходного угля представлены в таблице 2.

Проведенный анализ на содержание массовой доли хлора и мышьяка показал их следующие значения: Cl – 0.043%, As – 0,0025%. Полученные показатели соответствуют «следам» и в дальнейшем в расчет не принимаются.

3.2 Характеристика золы угля

Химический состав минеральной части угля представлен в таблице 3.

Определены основные показатели плавкости минеральной части угля: температура, при которой появляются первые признаки оплавления составляет 1220 °С, а температура, при которой образец растекается >1500 °С.

3.3 Результаты балансовых опытов. В ходе исследований было проведено шесть балансовых опытов по пиролизу угля, результаты которых представлены в таблице 4.

Таблица 2 - Характеристика исходного угля

Свойства	Условное обозначение	Показатели на массу, %		
		аналитическую	сухую	горючую
Массовая доля влаги	W	4	-	-
Массовая доля золы	A	30,06	31,31	-
Летучие вещества	V	21,48	22,38	-
Элементный состав:				
Углерод	C	55,95	58,29	84,85
Водород	H	5,35	5,57	8,11
Сера общая	S	0,45	0,47	0,68
Кислород	O	3,19	3,03	4,84
Азот	N	1	1,04	1,52
Теплота сгорания, низшая	Q _н	5752,81, ккал/кг		
Теплота сгорания, высшая	Q _в	5983,14, ккал/кг		

Таблица 3 - Химический состав минеральной части угля

№	Химическая формула	Значение, %
1	SiO ₂	64,1
2	Fe ₂ O ₃	0,21
3	Al ₂ O ₃	32,72
4	CaO	< 0,1
5	MgO	0,28
6	SO ₃	< 0,025
7	TiO ₂	1,7
8	P ₂ O ₅	0,12
9	Na ₂ O	< 0,2
10	K ₂ O	0,52

Таблица 4 - Результаты процесса пиролиза угля

№	Загружено Массы пробы, г	Получено									
		Полукокс		Смола сухая		Вода внешняя		Вода пироге- нетическая		Газ и потери	
		г	мас, %	г	мас, %	г	мас, %	г	мас, %	г	%
1	50,42	42,82	84,92	2,47	4,91	2,1	4,17	0,92	1,82	2,11	4,18
2	51	43,14	84,59	2,63	5,15	2,13	4,17	1,07	2,11	2,03	3,98
3	51	43,14	84,59	2,89	5,69	2,03	3,99	1,47	2,88	1,47	2,88
4	51	43,12	84,55	2,82	5,53	2,04	4	1,38	2,7	1,64	3,21
5	51	43,53	85,36	2,45	4,8	2,04	4	0,96	1,88	2,02	3,96
6	51	43,12	84,55	2,38	4,67	1,9	3,72	1,5	2,94	2,1	4,12
Усредненные значения		-	84,76	-	5,13	-	4	-	2,39	-	3,72
Сходимость результатов		0,25		0,33				0,45		0,45	

Полученные результаты процесса пиролиза угля показали, что основными продуктами пиролиза исследуемого угля являются полукокс, смола и горючий газ, усредненные значения которых (от 6 опытов) составляют соответственно 84,76 %, 5,13 % и 3,72 %. Причем в наибольшем количестве извлекается полукокс. Данные результаты хорошо сопоставляются с аналогичными результатами, полученными в работе [14] для 2 образцов угля месторождений Nariinsukhait и Tavantolgoi при 500 °С. Для данных образцов угля выходы полукокса, смолы и горючего газа составили соответственно: 93,0 %, 1,1 %, 2,5 % (для месторождения Nariinsukhait) и 92,3 %, 2,5 %, 2,3 % (для месторождения Tavantolgoi). Следует также отметить, что сходимость полученных результатов 6 опытов вполне удовлетворительна.

3.4 Характеристика продуктов пиролиза. Продуктами пиролиза угля являются газ, смола с

подсмольной водой и полукокс. Для того, чтобы провести исследование состава продуктов пиролиза необходимо было накопить около 50 грамм смолы с подсмольной водой и собрать достаточное количество газа. Поэтому, для накопления смолы был проведен один опыт на укрупненной реторте с загрузкой топлива массой 1 кг. Однако все расчеты и балансы представлены по усредненным результатам 6 опытов пиролиза.

3.4.1 Характеристики газа пиролиза угля. Отбор пирогаза проводили при 2-х различных температурах: 480 °С и 520 °С, соответствующих началу газовыделения и периоду максимального газовыделения для наиболее точного расчета его теплоты сгорания.

В таблице 5 представлены результаты анализа компонентного состава полученного пиролизного газа, % (об.).

Таблица 5 - Компонентный состав пиролизного газа

Температура отбора	CO ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	CH ₄	CO	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄
480 °С	16,27	1,27	3,99	3,78	39,71	12,16	9,74	2,99
520 °С	8,16	1,27	8,64	1,54	50,19	13,77	9,5	1,82
Ср. значение	12,21	1,27	6,33	2,66	44,96	12,97	9,63	2,41

Продолжение таблицы 5

Температура отбора	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈	iC ₄ H ₈	Тяж
480 °С	3,78	2,29	0,21	1,06	0,69	0,86	1,2
520 °С	2,18	1,14	0,13	0,53	0,28	0,27	0,58
Ср. значение	2,98	1,72	0,11	0,8	0,5	0,56	0,89

В полученном пиролизном газе в наибольших количествах присутствуют CH₄ (44,96 %), CO₂ (16,27 %), CO (12,16 %), C₂H₆ (9,74 %) по убывающему порядку. Остальные компоненты составляют менее 4 % в газе. Расчет теплотворной способности газа проводили по эмпирической формуле Менделеева Д.И. Теплотворная способность газа (низшая) по усредненным данным составила 7731,95 ккал/кг. Данный высококалорийный газ

получился в основном за счет высоких концентраций метана и этана. Расчетная плотность газа по усредненным данным составляет 1,13 кг/м³.

3.4.2 Характеристики суммарной смолы пиролиза угля. Смола суммарная представляет собой темную вязкую жидкость, которая легче воды, с характерным запахом. Смола собранная из разных шести опытов отделялась от воды. Для исследования физико-химических характеристик смо-

ла обезвоживалась.

Физико-химические показатели смолы составили: плотность (кг/м^3)– 0.83; вязкость относительная– 2.17; вязкость кинематическая (сСт)–

13.22; температура вспышки в открытом тигле– 75 °С; температура застывания– 7 °С.

Компонентный состав смолы, полученной из угля, представлен в таблице 6.

Таблица 6 - Компонентный состав смолы из угля

Наименование компонента	Содержание, %
Фенолы	16,13
Пиридиновые основания	2,23
Карбоновые кислоты	0,32
Нейтральные углеводороды	33,92
Механические примеси	19,96
Карбены, асфальтены	20,3
Осмоляющиеся	7,1
Элементный состав:	
Углерод	80,68
Водород	9,56
Сера	1,2
Азот	1,48
Кислород	7,08
Теплота сгорания, низшая, ккал/кг	8745,14

Таблица 7 - Результаты разгонки смолы

Температурный интервал разгонки, °С	Выход фракции %
н.к. = 69	-
69 – 180	6,60
180 – 280	24,40
280 – 337	21,50
>337	46,37
к.к. = 337	1,13
потери	
Итого	100

Как видно из полученных результатов, основными компонентами полученной смолы являются нейтральные углеводороды (33,92 %), карбены и асфальтены (20,30 %), фенолы (16,13 %), осмоляющиеся (7,10 %). В небольших количествах (менее 3%) присутствуют пиридиновые основания и карбоновые кислоты.

Разгонке подвергалась обезвоженная смола.

Результаты разгонки представлены в таблице 7.

Фракцию до 180 °С можно оценивать как бензиновую, выход ее незначителен. Фракции, относящиеся к дизельному топливу (в интервале температур 180-230 °С) и котельному топливу (при температуре > 280 °С), составляют более 50 %. Кубовый остаток сохраняет текучесть при нормальной температуре.

3.4.3 Характеристика подсмольной воды. Результаты исследования состава подсмольной воды представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Характеристики подсмольной воды

Наименование показателей	Ед. измерения	Значения
рН	-	9,38
Химическое потребление кислорода	мгО/л	60
Летучие с паром фенола	г/л	0,9
Пиридиновые основания	г/л	2,4
Сульфаты	мг/л	0,05
Хлориды	мг/л	0,003

Таблица 9 - Характеристики полукокса из угля

Наименование показателя	Содержание на сухую массу, %	Содержание на органическую массу
Массовая доля золы (А)	35	-
Летучие вещества (V)	10,81	16,63
Элементный состав:		
Углерод	60,73	93,43
Водород	2,74	4,21
Сера общая	0,40	0,61
Кислород	0,63	0,97
Азот	0,50	0,78
Теплота сгорания (низшая), ккал/кг		5587,19

Таблица 10 - Тепловой баланс пиролиза угля

№ п/п	Пиролиз угля	Выход продуктов, %		Теплота сгорания на раб. массу, Q, ккал/кг	Тепловой баланс ккал/кг
		на аналитическую массу	на сухую массу		
1	Уголь исходный	-	100	5752,81	5752,81
Продукты пиролиза угля					
1	Полукок	84,76	88,29	5587,19	4735,7
2	Смола	5,13	5,34	8745,14	448,62
3	Пирогенетическая вода	2,39	2,49	-	-
4	Вода внешняя	4	-	-	-
5	Газ	3,72	3,87	7731,95	287,63
Итого		100	100	-	5471,95
Невязка баланса					280,86 (4,88%)

Подсмольная вода содержит небольшое количество растворенных смоляных компонентов.

3.4.4 Характеристика полукокса. Характеристики полукокса, полученного в результате пиролиза угля, представлены в таблице 9.

3.5 Тепловой баланс пиролиза угля. Расчет теплового баланса проводили по усредненным выходам продуктов, полученных при термическом разложении угля в температурном диапазоне 220-520 °С. Выходы продуктов, рассчитанные на сухую массу исходного угля и их теплота сгорания, представлены в таблице 10.

Как видно из таблицы 10, невязка теплового баланса составляет менее 5 % (4,88 %), что вполне допустимо и удовлетворяет требованиям по пределам допустимой случайной погрешности невязки.

Выводы. Проведенное исследование процесса низкотемпературного пиролиза угля месторождения «Сарыадыр» показало, что основными продуктами пиролиза являются полукокс (84,76

%) и в небольших количествах – горючий газ (3,72 %) и смола (5,13 %). Полукокс представляет собой высококачественное малосернистое твердое топливо. Полученный полукокс характеризуется низким выходом летучих (10,81 %) и высокой теплотворной способностью ($Q_p = 5587,19$ ккал/кг) и такой продукт может использоваться в качестве эффективного бездымного топлива, а также в качестве восстановителя для металлургической промышленности. Получаемый из угля горючий газ также обладает высокой калорийностью. Таким образом, полученные из угля ценные химические продукты могут быть эффективно использованы в области энергетики.

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. Михайлова Е.С., Исмагилов З.Р., Шикина Н.В. Исследование физико-химических свойств катализаторов в реакции озонолиза каменноугольного сырого бензола // Химия в интересах устойчивого развития. - 2016. - Т.24(3). - С.369-377. DOI 10.15372/KhUR20160312
2. Кузнецов П.Н., Маракушина Е.Н., Бурюкин Ф.А., Исмагилов З.Р. Получение альтернативных пеков из углей // Химия в интересах устойчивого развития. - 2016. - Т.24(3) - С. 325-333. DOI 10.15372/KhUR20160307
3. Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Смотрина О.В., Брюховецкая Л.В., Исмагилов З.Р. Сорбция катионов меди нативными и модифицированными гуминовыми кислотами // Химия в интересах устойчивого развития. - 2016. - Т.24(3) - С.399 - 403. DOI 10.15372/KhUR20160316
4. С. Ма, Y. Zhao, T. Lang, C. Zou, J. Zhao, Z. Miao. Pyrolysis characteristics of low-rank coal in a low-nitrogen pyrolysis atmosphere and properties of the prepared chars // Energy. - 2023. - 277(4): 127524. DOI:10.1016/j.energy.2023.127524
5. P.R. Solomon, M.A. Serio, E.M. Suuberg. Coal pyrolysis: experiments, kinetic rates and mechanisms // Progress in Energy and Combustion Science / - 1992. - Vol.18 (2). - P. 133-220. DOI 10.1016/0360-1285(92)90021-R
6. M.J. Fabianska et al. Biomarkers, aromatic hydrocarbons and polar compounds in the neogene lignites and gangue sediments of the Konin and Turossow Brown coal basins (Poland) // International Journal of Coal Geology. - 2013. - Vol 107. - P.24-44. DOI 10.1016/j.coal.2012.11.008.

-
7. M.X. Liu et al. The radical and bond cleavage behaviors of 14 coals during pyrolysis with 9,10 - dihydrophenanthrene // *Fuel*.- 2016.-182.- P. 480-486. DOI10.1016/j.fuel.2016.06.006.
 8. M. Baysal et al. 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.
 9. Шантарин В.Д. Безальтернативный метод утилизации углеродсодержащих отходов // *Наука и Мир*. 2014. № 9 (13). С. 41-45.
 10. Исламов С.Р., Степанов С.Г. Глубокая переработка угля: введение в проблему выбора технологии // *Уголь*.- 2007. - № 10 (978).- С. 53–58.
 11. Y. Liu, Q. Yao, M. Sun, X. Ma. 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.-156: 105127. DOI 10.1016/j.jaap.2021.105127
 12. Y. Che, K. Shi, Z. Cui, H. Liu, Q. Wang, W. Zhu, et al. Conversion of low temperature coal tar into high value-added chemicals based on the coupling process of fast pyrolysis and catalytic cracking// *Energy*.-2023.- 264:126169. DOI 10.1016/j.energy.2022.126169
 13. Z.-H. Ma, X.-Y. Wei, G.-H. Liu, F.-J. Liu, Z.-M. Zong. Value-added utilization of high-temperature coal tar: a review.// *Fuel*.-2021.-Vol.292:119954. DOI 10.1016/j.fuel.2020.119954
 14. B.Purevsuren, S.Batbileg, M.Battsetseg, S.Jargalmaa, B.Avid, A.Ariunaa, P.N.Kuznetsov, E.S. Kamenskii, L.I. Kuznetsova. Properties of Mongolian Coal and Its Semicoking Products// *Coke and Chemistry*.-2021.- Vol. 64(2).-P.58 - 63. DOI 10.3103/S1068364X21020058

References

1. Mihajlova E.S., Ismagilov 3.R., Shikina N.V. Issledovanie fiziko-himicheskikh svojstv katalizatorov v reakcii ozonoliza kamennougol'nogo syrogo benzola//*Himija v interesah ustojchivogo razvitija*.- 2016.- T.24(3).- S.369-377. DOI 10.15372/KhUR20160312
[in Russ.]
 2. Kuznecov P.N., Marakushina E.N., Burjukin F.A., Ismagilov 3.R. Poluchenie al'ternativnyh pekov iz uglej // *Himija v interesah ustojchivogo razviti*.- 2016.-T.24.(3)- S. 325-333. DOI 10.15372/KhUR20160307.
[in Russ.]
 3. Zherebcov S.I., Malysenko N.V., Smotrina O.V., Brjuhoveckaja L.V., Ismagilov 3.R. Sorbcija kationov medi nativnymi i modificirovannymi guminovymi kislotami // *Himija v interesah ustojchivogo razvitija*.- 2016.-T.24(3)- S.399 - 403. DOI 10.15372/KhUR20160316. [in Russ.]
 4. C. Ma, Y. Zhao, T. Lang, C. Zou, J. Zhao, Z. Miao. Pyrolysis characteristics of low-rank coal in a low-nitrogen pyrolysis atmosphere and properties of the prepared chars// *Energy*.-2023.- 277(4): 127524. DOI:10.1016/j.energy.2023.127524
 5. P.R. Solomon, M.A. Serio, E.M. Suuberg. Coal pyrolysis: experiments, kinetic rates and mechanisms // *Progress in Energy and Combustion Science*/-1992.-Vol.18 (2).- P. 133-220.
DOI 10.1016/0360-1285(92)90021-R
 6. M.J. Fabianska et al. 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.
 7. M.X. Liu et al. The radical and bond cleavage behaviors of 14 coals during pyrolysis with 9,10 - dihydrophenanthrene // *Fuel*.- 2016.-182.- P. 480-486. DOI10.1016/j.fuel.2016.06.006.
-

8. M. Baysal et al. 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.
9. Shantarin V.D. Bezal'ternativnyj metod utilizacii ugljersoderzhashhikh othodov // Nauka i Mir. 2014. № 9 (13). S. 41-45. [in Russ.]
10. Islamov S.R., Stepanov S.G. Glubokaja pererabotka uglja: vvedenie v problemu vybora tehnologii // Ugol'.- 2007. - № 10 (978).- S. 53–58. [in Russ.]
11. Y. Liu, Q. Yao, M. Sun, X. Ma. 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.-156: 105127. DOI 10.1016/j.jaap.2021.105127
12. Y. Che, K. Shi, Z. Cui, H. Liu, Q. Wang, W. Zhu, et al. Conversion of low temperature coal tar into high value-added chemicals based on the coupling process of fast pyrolysis and catalytic cracking// Energy.-2023.- 264:126169. DOI 10.1016/j.energy.2022.126169
13. Z.-H. Ma, X.-Y. Wei, G.-H. Liu, F.-J. Liu, Z.-M. Zong. Value-added utilization of high-temperature coal tar: a review.// Fuel.-2021.-Vol.292:119954. DOI 10.1016/j.fuel.2020.119954
14. B.Purevsuren, S.Batbileg, M.Battsetseg, S.Jargalmaa, B.Avid, A.Ariunaa, P.N.Kuznetsov, E.S. Kamenskii, L.I. Kuznetsova. Properties of Mongolian Coal and Its Semicoking Products// Coke and Chemistry.-2021.- Vol. 64(2).-P.58 - 63. DOI 10.3103/S1068364X21020058

Сведения об авторах

Нурғалиев Н.У.-кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана Казахстан, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Искакова Ж.Б.-кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный 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;

Айбульдинов Е.Е. - доктор PhD, Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, Астана, e-mail: elaman_@mail.ru;

Сабитов А.С.-докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: sawy552@gmail.com;

Копишев Э.К.-кандидат химических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: eldar_kopishev@mail.ru;

Салихов Р.М.-главный инженер, ООО «ТТУ ЛТД», Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, e-mail: info.galotar@gmail.com;

Петров М.С.-главный инженер, ООО «ТТУ ЛТД», Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, e-mail: info.galotar@gmail.com;

Алжанова Г.Ж.- докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: galiya.alzhanova@gmail.com;

Абдиюсупов Г.Г.-менеджер, ТОО «CCS Services - Central Asia», Астана, Казахстан, e-mail: gaziz_86@inbox.ru;

Өмірзақ М.Т.-доктор PhD, ТОО «Sauda Exports&Import», Астана, Казахстан, e-mail:

madi.omirzak@gmail.com

Information about the authors

Nurgaliyev N.U.-Candidate of Chemical Science, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurgaliyev_nao@mail.ru;

Iskakova Zh.B.-Candidate of Chemistry 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 Chemistry Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aynagulk@mail.ru;

Aybuldinov E.K.-PhD, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: elaman_@mail.ru;

Sabitov A.S.-Doctoral Student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: sawy552@gmail.com;

Kopishev E.Ye.- Candidate of Chemistry Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: eldar_kopishev@mail.ru;

Salikhov R.M.-Chief Engineer, LLC "TTU LTD", Russian Federation, St. Petersburg, e-mail: info.galotar@gmail.com;

Petrov M.S.-Chief Engineer, LLC "TTU LTD", Russian Federation, St. Petersburg, e-mail: info.galotar@gmail.com

Alzhanova G. Zh.-Doctoral Student, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: galiya.alzhanova@gmail.com;

Abdiyussupov G.G.-Manager, CCS Services – Central Asia LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: gaziz_86@inbox.ru;

Ómirzak M.T.-PhD, Sauda Exports&Import LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: madi.omirzak@gmail.com

ЖАРЫЛЫС ЖҰМЫСТАРЫНДА ЭМУЛЬСИЯЛЫҚ ЖАРЫЛҒЫШ ЗАТТАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН ТАЛДАУ

Э.Қ. Қаржауова✉, Д.Д. Мейрам, Ж.Т. Нұртай, А.Ж. Хамит, С.Ж. Қалыхбергенова

Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан

✉ Корреспондент-автор: karzhauova.81@mail.ru

Тау-кен массивтерін жару көмегімен бұзылуының дамуы тау-кен кәсіпорындарында тікелей әзірленетін, құрамында жарылғыш компоненттері жоқ ЖЗ-дың эволюциясымен байланысты.

Өнеркәсіптік ЖЗ-мен салыстырғанда эмульсиялық ЖЗ тиімдірек, бұл жоғары зарядтау тығыздығына және соның салдарынан жарылыс энергиясының көлемдік концентрациясының және ұңғыма зарядтарының жарылу жылдамдығының жоғары мәндеріне байланысты. Нәтижесінде ЭЖЗ күшті тау жыныстары үшін қолайлы кернеу толқындарының алдыңғы жағындағы қысымның жоғарылауымен ғана емес, сонымен қатар, сұйық фазаның (эмульсияның) болуына байланысты оны ұзақ уақыт бойы ұстап тұрады, бұл зарядтан алыстау кезінде ұсақтау тиімділігін арттырады.

Эксперименттік зерттеулермен ANFO кешенінде ЭЖЗ қолданған кезде біртектілікке қатысты аралас зарядтың жұмыс қабілеттілігін 15%-ға ұлғайту есебінен жоғары жиектері бар жағдайларда бұрғылау-жару жұмыстарының тиімділігі жоғарылайтыны, кендер мен сыйымды жыныстар шекарасының жылжуы 1,5...2,0 есе азаятыны, ЖЗ шығындарын 0,9%-ға төмендете отырып, тау массасының ұсақталу сапасы жақсаратыны дәлелденді; жарылыс жұмыстарының ЭеҚЖ-мен кешенде ЭЖЗ қолдануға ауысуымен тау жыныстарын ұсақтау сапасы үйіндідегі жарылған бөліктің орташа мөлшерінің 15,8%-ға және ЖЗ шығындарының 0,8%-ға төмендеуімен жақсарады.

Түйін сөздер: эмульсиялық жарылғыш заттар, су-гельді өнеркәсіптік жарылғыш заттар, жарылыс энергиясын реттеу, детонация жылдамдығы, электрлік емес инициация жүйелері, түйіршікті аммиак селитрасының сусымалы қоспасы, дизель отыны.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Э.Қ. Қаржауова✉, Д.Д. Мейрам, Ж.Т. Нұртай, А.Ж. Хамит, С.Ж. Қалыхбергенова

Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан,

e-mail: karzhauova.81@mail.ru

Прогресс во взрывном разрушении массивов горных пород связан с эволюцией ВВ в направлении развития составов без взрывчатых компонентов, изготавливаемых непосредственно на горных предприятиях.

Эмульсионные ВВ по сравнению с промышленными являются более эффективными, что обусловлено более высокой плотностью заряжения и, как следствие, более высокими значениями объемной концентрации энергии взрыва и скорости детонации скважинных зарядов. Вследствие этого, ЭВВ характеризуются не только повышенным давлением на фронте волн напряжений, приемлемым для крепких пород, но благодаря присутствию в составе жидкой фазы (эмульсии), поддерживают его в течение более длительного промежутка времени, что повышает эффективность дробления на удалении от заряда.

Экспериментальными исследованиями доказано, что при применении ЭВВ в комплексе с ANFO повышается эффективность буровзрывных работ в условиях с высокими уступами за счет увеличения работоспособности комбинированного заряда относительно однородного на 15%, уменьшается в 1,5...2,0 раза смещение границы руды и вмещающих пород, улучшается качество дробления горной массы при одновременном снижении затрат на ВВ на 0,9%; с переходом взрывных работ на применение ЭВВ в комплексе с НСИ качество дробления пород улучшается со снижением среднего размера взорванного куска в развале на 15,8% и затрат на ВВ на 0,8%.

Ключевые слова: эмульсионные взрывчатые вещества, водногелевые промышленные взрывчатые вещества, регулирование энергией взрыва, скорость детонации, неэлектрические системы инициирования, сыпучая смесь гранулированной аммиачной селитры, дизельное топливо

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF EMULSION EXPLOSIVES IN BLASTING OPERATIONS

Е.К. Karzhauova ✉, **D.D. Meiram, Z.T. Nurtai, A.Zh. Hamit, S.Zh. Kalyhbergenova**

Kazakh technology named after K. Kulajonov and a business university, Astana, Kazakhstan,

e-mail: karzhauova.81@mail.ru

Progress in the explosive destruction of rock massifs is associated with the evolution of explosives in the direction of the development of compositions without explosive components manufactured directly at mining enterprises, equipment and technology for charging wells.

Emulsion explosives are more effective compared to industrial explosives, which is due to a higher charging density and, as a result, higher values of the volumetric concentration of explosion energy and the detonation rate of borehole charges. As a result, EVs are characterized not only by increased pressure at the front of stress waves, acceptable for strong rocks, but due to the presence of a liquid phase (emulsion) in the composition, they maintain it for a longer period of time, which increases the crushing efficiency at a distance from the charge.

Experimental studies have proved that when using EVV in combination with ANFO, the efficiency of drilling and blasting operations in conditions with high ledges increases by increasing the efficiency of the combined charge relatively homogeneous by 15%, the displacement of the ore boundary and the host rocks decreases by 1.5...2.0 times, the quality of crushing rock mass improves while reducing the cost of explosives by 0.9%; with the transition of blasting operations to the use of EVV in combination with NSI, the quality of rock crushing improves with a decrease in the average size of the exploded piece in the collapse by 15.8% and the cost of explosives by 0.8%.

Key words: emulsion explosives, water-gel industrial explosives, regulation of explosion energy, detonation rate, non-electric initiation systems, bulk mixture of granular ammonium nitrate, diesel fuel

Кіріспе. Соңғы екі онжылдықта пайда болған жарылыс жұмыстарының экономикалық тиімділігі мен олардың қауіпсіздігінің артуы қарапайым құрамдағы жарылғыш заттардың және құрамында суы бар жарылғыш заттардың пайда болуымен байланысты.

Бұл қатарда маңызды орынды эмульсиялық жарылғыш заттар алады, олардың негізгі артық-

шылықтары өндіріс пен пайдалану қауіпсіздігінің ең жоғары деңгейі, тиеу процесін толық механикаландыру мүмкіндігі, энергетикалық сипаттамаларды реттеу, сонымен қатар, шикізат құны қолжетімділігі және төмен болуы болып табылады.

Өзектілігі. Қазіргі уақытта ашық тау-кен жұмыстарын жүргізу кезінде аршу жұмыстарының күрт артта қалуына байланысты және болашақта

тау-кен жұмыстарының одан әрі дамуына байланысты пайдалы қазбаларды игеру үшін тау-кен жоталарын дайындау жағдайы өршігіп кетті. Сондықтан, тау-кен өнеркәсібінде өте маңызды мәселені шешу мәселесі туындады: аршу жұмыстарын жүргізуді едәуір күшейту.

Мақсаты: бұрғылау-жару жұмыстарының тиімділігін арттыруды қамтамасыз ететін эмульсиялық жарылғыш заттардың параметрлерін негіздеу.

Материалдар мен әдістер. Бұл эмульсиялық жарылғыш заттардың құрамында жеке жарылғыш заттар жоқ, сондықтан қауіпті жүктерді тасымалдау мен сақтаумен байланысты проблемалар жойылады. Дегенмен, абсолютті қауіпсіз жарылғыш заттар жоқ екенін және тотықтырғыш пен отынның кез келген қоспасы жарылғыш болуы мүмкін екенін және оны өңдеу кезіндегі нақты қауіптілік дәрежесі көптеген факторларға байланысты екенін есте ұстаған жөн [1].

Жарылғыш заттардың бұл түрінің айқын тартымдылығы көптеген тау-кен кәсіпорындарында, әсіресе ірі кәсіпорындарда оларды өндіру және пайдалану үшін кешендердің белсенді құрылысына әкелді.

Эмульсиялық жарылғыш заттардың маңызды ерекшеліктерінің бірі эмульгатор зарядының көлемдік энергиясының концентрациясын мәжбүрлеп реттемей, оның бастапқы импульске сезімталдығына қол жеткізе отырып және тығыздықты өзгерту арқылы қол жеткізілетін детонацияның критикалық диаметрін өзгертпестен, композицияның өзі жарылғыш зат болып табылмайды. Эмульгаторды оған химиялық агенттерді (химиялық газ генерациясы) немесе механикалық қоспаларды (шыны сферасы, перлит, тығыздығы төмен полимерлер) енгізу арқылы қол жеткізіледі.

Сонымен қатар, эмульсия эмульсияларының құрамында түйіршіктелген (кеуекті) аммоний нитраты немесе ANFO типті қоспалар болуы мүмкін, бұл жағдайда эмульсияның пайызы 30-дан 70%-ға дейін өзгеруі мүмкін. Осы ерекшелігіне байланысты жарылғыш заттар стандартты өнеркәсіптік жарылғыш заттармен салыстырғанда өндіру және пайдалану үшін ең қауіпсіз бо-

лып табылады. Жалпы алғанда, олар тотықтырғыштардың сулы ерітіндісі (негізінен аммоний, натрий, кальций нитраттары) дисперсті фаза болып табылатын және дисперсиялық орта сұйық немесе балқытылған отынмен (негізінен мұнай өңдеу өнімдері) түзілетін әдеттегі жоғары концентрлі эмульсияны білдіреді [2].

Физикалық химиядағы эмульсияның бұл түрі кері деп жіктеледі және «мұнайдағы су» деп белгіленеді. Мұндай эмульсияларда сулы фазаның әрбір тамшысы суда ерімейтін органикалық заттардың қабығында болады. Эмульсияның жалпы оң қасиеттерін (тотықтырғыштың өте аз өлшемдері бар үлкен аралық беті) пайдалану тотықтырғыштың отынмен тығыз байланысын және олардың жарылғыш масса бойынша біртекті таралуын алуға мүмкіндік береді, бұл композицияларға сан береді. Компоненттерді араластырудың әдеттегі механикалық әдістерімен қол жеткізуге болмайтын оң қасиеттер. Осылайша, эмульсиялық жарылғыш заттардың көмегімен жарылғыш заттардың детонацияға жоғары сезімталдығымен бір мезгілде қауіпсіз қолдануға болатын рецептураларын алу мүмкін болды. Өлшемдері 1-ден 50 мкм-ге дейінгі ең кішкентай тотықтырғыш бөлшектердегі отынның микроскопиялық пленкасы бар композицияның алынған эмульсиялық құрылымы (1-сурет) бұрғылаудан кейін тиеу технологиясын қолдана отырып, оларды пайдалану мүмкіндігімен ПЖЗ (пластикалық жарылғыш заттар) жоғары суға төзімділігін қамтамасыз етеді. Эмульсиялық жарылғыш заттардың экологиялық тазалығы ерекше назар аударуды қажет етеді, бұл жарылыс қауіпін өзгерту кезінде де, жарылыс алдында тау жыныстарымен және жер асты суларымен жанасқанда да қамтамасыз етіледі [3]. Эмульсиялық жарылғыш заттарды қолдану тәжірибесі жарылғыш заттардың басқа кластарына қарағанда бірқатар артықшылықтарды көрсетті:

- механикалық және термиялық әсерлерге (соққы, үйкеліс, жылу, өрт, оқтың өтуі және т.б.) қатысты жоғары қауіпсіздік;

- 0,5-тен 1,5 г/см³-ке дейінгі жұмыс тығыздығының кең диапазоны бар жарылғыш сипаттамаларды реттеу мүмкіндігі;

- ағынды суларда және үлкен тереңдікте

сақталған жоғары суға төзімділік;

– стандартты праймерден және қажет болған жағдайда тек аралық детонатордан іске қосылған кездегі селективті сезімталдық;

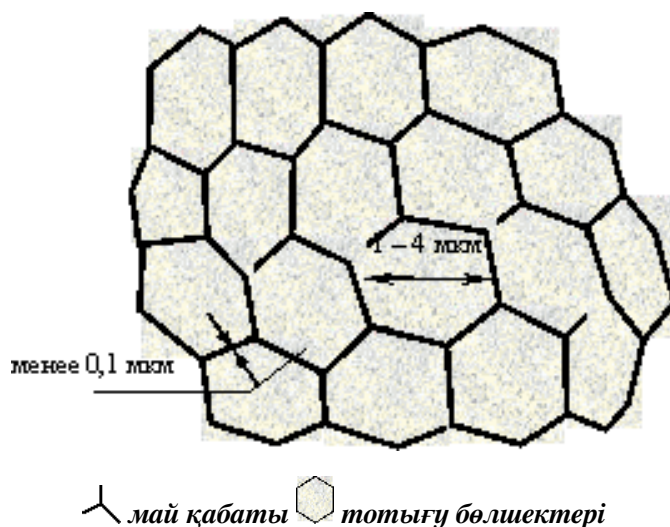
– тозанданудың, электролиздің, компоненттердің экссудациясының және улы материалдармен жанасуының болмауы;

– жарылыс кезінде аз уыттылықпен газдың шығуын қамтамасыз ететін жүйенің оттегі балансының нөлге жақын, жарылыс жұмыстарын толық механикаландыру;

– әртүрлі қоспаларды енгізе отырып, матрицалық эмульсия негізінде құрама және аралас композициялар құру мүмкіндігі;

– эмульсиялардың реологиялық қасиеттерін әртүрлі стандартты өлшемдегі картридждер түрінде шығаруға мүмкіндік беретін, пайдалану орнында толық көлденең қимасына дейін толтыра отырып дайындалу;

– пайдаланудың жоғары техникалық-экономикалық тиімділігі бар жарылғыш заттарды алуға мүмкіндік беретін қолжетімді және арзан шикізат базасы.



1-сурет - Эмульсия құрылымы

Эмульсиялық жарылғыш заттардың қасиеттері

1-кесте - Эмульсиялық жарылғыш заттардың негізгі сипаттамалары

Жарылғыш заттар	Жарылыс жылуы, ккал/кг	Энергия концентрациясы, ккал/дм ³	Тығыздығы жүктелген, кг/м ³	Детонация жылдамдығы, км/с	Газдың зияндылығы, л/кг
Гранулотол	980	980	1000	5,0-5,2	275
Игданит	920	820	900	2,2-2,7	45
Порэмит 1	689-726	861-908	1250	4,9-5,2	11,8-12,2
Порэмит М				4,8-5,3	42-54
Гранэмит 50/50	835	1170	1400	4,8-5,2	36

Тұрмыстық эмульсиялық жарылғыш заттардың (поремит) негізгі техникалық сипаттамалары 1-кестеде берілген, салыстыру үшін стандартты жарылғыш заттардың – гранулотол мен игданиттің сипаттамалары келтірілген [4].

1-кестеде тотықтырғыш бөлігінің құрамы, қолданылатын отын-энергетикалық қоспалары бойынша ерекшеленетін поремиттердің екі түрі көрсетілген. Әртүрлі маркадағы поремиттер жарылу жылуы бойынша (салмағы бойынша) гранулотолдан айтарлықтай төмен, алайда, ұңғымаларды поремиттермен тиеу тығыздығының жоғарылауын ескере отырып, энергия концентрациясы гранулотолдың қуат деңгейіне жақындайды. Жүктеме тығыздығын 1350 кг/м³ дейін арттыруға және гранулотол деңгейінде поремиттік энергия концентрациясын алуға болады. Бұл жарылғыш заттарды судың кез келген дәрежесі бар орташа қатты жыныстарды жару үшін тиімді пайдалануға болады. Күшті және өте берік тау жыныстары үшін құрамында энергетикалық қоспа – алюминий бар қуатты эмульсиялық жарылғыш заттарды қолдану ұсынылады. Қуаттылығы бойынша алюминизацияланған жарылғыш заттар (жоғары тығызды-

ғын ескере отырып) шихтадағы энергия концентрациясы бойынша гранулотолдан айтарлықтай асып түседі, сондықтан оларды кез келген беріктіктегі және су құрамындағы тау жыныстарында жару үшін қолдануға болады.

Дегенмен, таза эмульсиялық жарылғыш заттардың, әсіресе алюминий қоспалары бар, жоғары құны бар, сондықтан гранемиттер, эмульсия негізіндегі аралас жарылғыш заттар және түйіршіктелген аммоний нитраты немесе АС-ДТ 30/70 қатынасында (70% эмульсия, қалғаны селитра немесе АС-ДТ) [5].

Зарядтау тығыздығы кг/м³ гранемиттер қуаты жағынан гранулотолдан біршама жоғары және оның орнына жарылыс жұмыстарында тиімді пайдалануға болады. Эмульсиялық жарылғыш заттар детонация жылдамдығы бойынша гранулотол деңгейінде және онымен салыстырғанда газ зияндылығы айтарлықтай төмен.

2-кестеде картриджді эмульсиялық жарылғыш заттардың негізгі сипаттамалары көрсетілген, салыстыру үшін аммонит 6ЖВ сипаттамалары берілген. Патронды эмульсиялық жарылғыш заттардың жарамдылық мерзімі 6 ай.

2-кесте - Патрондық эмульсиялық жарылғыш заттардың негізгі сипаттамалары

Жарылғыш заттар	Патрон диаметры, мм	Жарылыс жылуы, ккал/кг	Патрондағы ЖЗ массасы, кг	Патрондағы ЖЗ тығыздығы, кг/м ³	Детонация жылдамдығы, км/с
Аммонит 6ЖВ	32; 36; 90	1030	0,2...3,5	1,00 - 1,10	3,6 - 4,8
Порэммит ПГА, I	45; 60; 90	1025	1,0...4,3	1,40 - 1,60	5,0 - 6,0
Порэммит ПГ-4А	32; 36; 45	875	0,2...0,5	1,10 - 1,25	3,6 - 4,4

Құрамына қарай эмульгаторларды екі негізгі топқа бөлуге болады: сенсбилизацияланған эмульсия және сенсбилизацияланған (немесе сенсбилизацияланбаған) эмульсияның аммоний селитрасымен немесе АS+DT (дизельдік отынмен майланған аммоний нитраты) қоспалары, олардың саудалық атаулары әртүрлі елдер әртүрлі, бірақ негізінен «Эмуландар», «Гранемиттер», «Нобеландар» және т.б. типтерге біріктірілуі мүмкін. Ең қарапайым класқа жататын

қазіргі заманғы эмульсиялық жарылғыш заттар (ЭМБ) өндіру мен пайдалану үшін ірі тау-кен кәсіпорындары үшін ғана мүмкін күрделі және қымбат технологияны қажет етеді.

Осыған байланысты тау-кен өндірісінде әзірленген және қолданылатын жарылғыш заттардың ассортименті әртүрлі болып қалуда.

Келесі топтарды бөлуге болады: құрамында тротил бар, су өткізбейтін (аммониттер, комбизарлар және т.б.); құрамында тротил бар су (аква-

толдар, ифзаниттер, карбатолдар және т.б.); түйіршікті тротил бар су өткізбейтін (гранулотол, граммониттер, тротил U); түйіршікті тротилсіз (игданиттер, коалиттер, гранулиттер және т.б.); эмульсия (поремиттер, сибириттер, тован және т.б.); қорғаныш (карбониттер, аммониттер); конверсия (границпоралар, жоғары жарылғыш заттар) [6].

Соңғы онжылдықта әртүрлі параметрлері бар жарылғыш заттардың 20-ға жуық құрамы ұсынылды; Зауытта да, жарылыс алаңдарында да өндірілетін акватолдардың, гранулотолдардың, карбониттердің және т.б. 6-8 құрам. Эмульсиялық жарылғыш заттар есебінен жарылғыш заттарды тұтынудың артуы байқалды, оның ішінде су өткізбейтін эмульсиялық композицияларға 40-50%-ға дейін игданит қосу, олардың суға төзімділігін сақтай отырып, эмульсиялық жарылғыш заттардың тиімділігін арттыру.

Стационарлық модульдік кешендегі эмульсиялық жарылғыш заттардың өнеркәсіптік өндірісінің құрылымдық схемасы келесі технологиялық кезендерді қамтиды: шикізатты дайындау; тотықтырғыштардың (селитра) және май фазасының (минералды май, парафин және эмульгатор қоспасы) ерітіндісін дайындау; эмульсия (матрицалық дайындау) – арнайы динамикалық араластырғышта тотықтырғыш және май ерітінділерін араластыру арқылы эмульсия түзу; аммиак селитрасын (АС) дизельдік отынмен (ДО) араластыру, матрицалық эмульсияны АЗМ бункеріне қабылдау; АЗМ ұңғымаларына эмульсиялық жарылғыш заттарды тиеу; эмульсияларды сенсублизациялау – газ түзетін қоспаларды (ГТК) қосу [7].

Эмульсиялық жарылғыш заттарды өндіруде эмульсиялық матрицаны (эмульсия), содан кейін аралас эмульсиялық жарылғышты құрайтын компоненттер қолданылады (3-кесте).

3-кесте - Эмульсиялық жарылғыш заттарды өндіруге арналған компоненттер

Компоненттер	Химиялық формуласы	Эмульсия құрамындағы үлес, %	Сатылу түрі	Қолданылуы
1. Аммоний нитратының ыстық ерітіндісі (82 %)	NH ₄ NO ₃	87,8	сұйық	Тотықтырғыш ерітіндіде
2. Натрий нитраты	NaNO ₃	4,0	қатты	
3. Сірке қышқылы (60 %)	C ₂ H ₄ O ₃	0,4	сұйық	
4. Тиомочевина	(H ₂ N) ₂ CS	0,25	қатты	
5. Күйдіргіш натр	NaOH	0,15	қатты	
6. Минерал майы	Mineral Oil	5,9	сұйық	Майлы ерітіндіде
7. Эмульгатор DN серии 2000	ПАВ	1,2	сұйық	
8. Натрий нитраты	NaNO ₂	0,3	қатты	ГГД
9. Түйіршіктелген аммоний нитраты	NH ₄ NO ₃	94% қоспа құрамында АС+ДТ	қатты	АС+ДТ қоспасын қалыптастыру үшін
10. Дизель отыны	-	6% қоспа құрамында АС+ДТ	сұйық	

Нәтижелер мен талқылау. Осылайша, тау-кен массивтерін жарылғыш жолмен жоюдағы ілгерілеу жарылғыш заттардың тікелей тау-кен кәсіпорындарында өндірілетін жарылғыш компо-

ненттері жоқ композицияларды әзірлеуге, ұңғымаларды тиеуге арналған жабдықтар мен технологиялардың эволюциясымен байланысты.

Сонымен қатар, жарылғыш жарылғыш заттар-

дың тағы бір өте маңызды артықшылығы бар: олар жарылыс алаңдарында дайындалады, нәтижесінде жарылғыш заттарды тасымалдау шығындары айтарлықтай төмендейді және олармен жұмыс істеу кезінде қауіпсіздік артады.

Эмульсиялық жарылғыш заттар негізінен тамшы түрінде дисперстік фазаны білдіретін бейорганикалық тотықтырғыштың сулы ерітіндісінен және үздіксіз фаза болып табылатын сұйық отыннан тұрады.

Алғашқы жарылғыш заттардың құрамында аммоний нитраттарының, перхлораттар мен хлораттардың, сілтілі металдардың және сирек жер элементтерінің тотықтырғыш ерітінділерінің ерітінділері болды. Көбінесе аммоний нитраты жеке немесе басқа нитраттармен қоспада қолданылады. Эмульсиялық жарылғыш заттардың жарылғыш сипаттамалары олардың газдануын өзгерту арқылы өзгертілді [8].

Жарылғыш зарядтардың алғашқы пилоттық жарылыстары 80-жылдардың аяғында жүзеге асырылды және әдетте көңіл қуантарлық нәтижелер берді.

Эмульсиялық жарылғыш заттарды өндірудегі басты ерекшелігі эмульсия матрицасында «ыстық нүктелердің» пайда болуы болып табылады, олар іске қосылған кезде эмульсиялық жарылғыш заттардың жарылу орталығына айналады. Қажетті сезімталдықты қамтамасыз ету үшін әзірленген эмульсиялық композицияларға қуыс шыны микросфералар, кеуекті аммоний нитраты және т.б. түріндегі әртүрлі сенсублизаторлар («ыстық нүктелер») енгізілді.

90-жылдары эмульсияны салқындату кезінде натрий нитритінің тиокарбамидпен әрекеттесуі кезінде химиялық жолмен түзілген азоттық микрөкірішкітермен эмульсия жарылғыш заттардың сенсублизациясын қамтамасыз ету мүмкін болды. Бұл кезде ең арзан бірінші жарылғыш заттар пайда болды. Карьерлерде тау жыныстарын жару кезінде қолданылған поремиттер.

Карьерлерде газ түзетін қоспалары бар жарылғыш заттарды қолдану арқылы тәжірибелік-өндірістік және өнеркәсіптік жарылыс жұмыстарын жүргізу жарылыс жұмыстарына кететін шы-

ғынды айтарлықтай төмендетуге және олардың өндірістік қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік берді.

Келесі жарылғыш заттар қолданылды: ANFO, Rioflex және Nitronit P

1. ANFO (ANFO) – жарылғыш, құрғақ ұңғымаларға арналған оттегінің теңдестірілген құрамы бар түйіршіктелген аммоний селитрасы мен дизельдік отынның (ADF) түйіршікті қоспасы.

Қолдану

ANFO бастапқыда құрғақ және іске қосылғанға дейін құрғақ болып қалатын ұңғымаларда қолданылады. ANFO тау-кен өндірісінде, карьерде және жалпы жарылыс жұмыстарында заряд бағанасы ретінде пайдаланылуы мүмкін.

ANFO-ны дұрыс қолданбау жарылыс газдарының жоғарылауына әкелуі мүмкін.

АНФО сульфидтері бар реактивті жыныстарда қолданылмайды.

Негізгі артықшылықтар

- ANFO зарядтауға оңай және ұңғыманы толығымен толтырып, максималды энергия шығаруды қамтамасыз етеді.

- Тұрақты жоғары сапа жарылыс сенімділігін қамтамасыз етеді.

- Үлкен жарылыстар үшін жоғары өнімділік.

2. «Rioflex» су-гельді өндірістік жарылғыш зат (TU 7276-011-58472318-2005) араластырғыш-зарядтау машинасымен ұңғымаларды тиеу процесінде қолдану орнында МАХАМ компаниясының рецептісі бойынша дайындалған. Қоршаған орта температурасының -50°C -тан $+50^{\circ}\text{C}$ -ге дейінгі диапазонында ұңғымаларды зарядтау әдісін қолдана отырып, М.М. Протодьяконов шкаласы бойынша беріктік коэффициенті 20-ға дейінгі құрғақ және су басқан тау жыныстарын жару кезінде жер бетіндегі жару жұмыстарына арналған.

Rioflex жарылғыш заттар технологиясының соңғы жетістігін білдіреді және жарылғыш емес ретінде тасымалданады, жарылғыш заттың өзі тұтынушы орнында зарядтау және араластыру машинасында тікелей өндіріледі.

Rioflex-тің жарылғыш заттардың басқа түрлерінен артықшылығы:

- су басқан ұңғымаларды зарядтау кезінде суды жер бетіне шығару мүмкіндігі;
- жарылғыш заттардың зарядталған массасы мен тығыздығын бақылау;
- ағын су болған жағдайда да суға жақсы төзімділік;
- жарылыс энергиясын және детонация жылдамдығын тығыздықты өзгерту арқылы реттеу;
- жарылыстан жарылысқа дейінгі жұмыстың дәйекті және біркелкі сапасы.
- өнімді механикалық кернеуге ұшырату мүмкіндігі, яғни араластыру, айдау, шнектің көмегімен беру.

Бұл өнімнің жоғарыда аталған барлық артықшылықтары тұтынушыға тау жынысының сипаттамаларына және жарылған массаның қажетті профиліне жақсы сәйкес келу үшін ұсақтау энергиясы мен тау жыныстарының сапасы арасындағы

қажетті теңгерімді таңдауға мүмкіндік береді [9].

Картриджді жарылғыш заттар Nitronit P

Капсула-сезімтал картридж негізіндегі жарылғыш заттар Nitronit-P өнеркәсіптік жарылғыш заттардың ұңғымалары мен ұңғымаларын зарядтауды бастау үшін тірі оқ-дәрі ретінде жарылыс жұмыстарында пайдалануға арналған.

Олар габаритті емес материалдарды ұсақтау үшін үстеме шығындар ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Сонымен қатар, олар эмульсиялық жарылғыш заттармен қосылып суға төзімді күшті жарылғыш зарядтар түзеді және суға төзімді емес жарылғыш заттармен қосылып ұңғымалардың суарылатын бөлігінде жарылғыш зарядтар түзе алады.

Олар жер бетінде, жерасты шахталарында және газ немесе шаң әсерінен қауіпті емес шахталарда қолданылады. Оларды пайдалану тау-кен өндірісіндегі бұрғылау-жару жұмыстарының тиімділігін арттыруға мүмкіндік берді (4-кесте).

4-кесте - Техникалық сипаттамалары Nitronit P

Диаметрі	25-тен 90 мм дейін
Салмағы (диаметрге байланысты)	0,15-тен 3,5 кг дейін
Ашық зарядтың жарылу жылдамдығы (диаметріне байланысты)	5200-ден 5600 м/с дейін
Оттекті баланс	-1,7 %
Патрондағы эмульсиялық жарылғыш заттың орташа тығыздығы	1,1-ден 1,25 г/см ³ дейін
15 м тереңдікке дейін суға төзімді	100 %
Жарылыс жылуы бойынша тротил эквиваленті	0,74
Қолдану температурасының диапазоны	-30°C-тен +55°C

Сондай-ақ, тау-кен өнеркәсібінде жарылыс жұмыстарын жүргізу кезінде жарылғыш заттарды іске қосу құралдары қолданылады.

Бастау құралдары жарылғыш зарядқа бастапқы импульстің берілуін және оның жарылуын қамтамасыз ету үшін қажет. Іске қосу құралдарын өндіруде жарылғыш заттардың екі шартты тобы қолданылады: бастапқы және қайталама. Біріншісіне сынап фульминаты, қорғасын азиді, тенерес сияқты сезімталдығы жоғары заттар жатады. Сезімталдығы аз екінші топқа тетрил, гексоген, ПЭТН жатады.

Зерттеу барысында Rionel электрлік емес инициация жүйелері қолданылды. Rionel электрлік емес инициация жүйелері жер бетіндегі жарылыс жұмыстары кезінде де, жер асты жағдайында да өнеркәсіптік жарылғыш зарядтарды белсендіру үшін қолданылады. Жүйелерді пайдалану кезінде қоршаған орта температурасы -50-ден +85 °С-қа дейін болуы мүмкін. Rionel электрлік емес жүйелерінің төрт негізгі өнімі шығарылады: MS, LP, X, DDX. MS – 0-750 мс диапазонында баяулатудың 21-сериясының детонаторларын пайдаланатын миллисекундтық қатар.

Rionel LP сериялары жер асты және туннельдік қосымшалар үшін пайдаланылатын 0-9000 мс ұзағырақ баяулау кезеңіне ие. X сериясы үстіңгі монтаждау үшін пайдаланылады және 9-дан 150 мс аралығындағы жеті номиналды жауап беру уақыты бар. DDX – MS және X серияларының параметрлерін біріктіретін қос баяулау сериясы.

Жалпы алғанда, Rionel жүйелері қауіпсіздік-

тің жоғары дәрежесіне және жарылысты бақылаудың жоғары деңгейіне ие. Жүйелер пайдалануда сенімді, біріктірілуі мүмкін және жарылғыш заттардың барлық түрлерімен пайдалануға болады. Оларды пайдалану кезінде жарылғыш желінің бұзылуы жойылады және ұңғымалардың зарядтарының «төменгі» бастамасы тиімді қолданылады. Бұл жүйелердің қоршаған ортаға нөлдік дерлік зиянды әсері де өзекті болып табылады (5-кесте).

5-кесте – Толқын бағыттағыштардың түрлері

DDX	X
Rionel DDX 25/500 6м	Rionel X 17м/с 6м
Rionel DDX 42/500 12м	Rionel X 25м/с 7.8м
Rionel DDX 25/500 12м	Rionel X 17м/с 7.8м
Rionel DDX 42/500 15м	Rionel X 25м/с 9м
Rionel DDX 25/500 15м	Rionel X 42м/с 9м
Rionel DDX 42/500 18м	Rionel X 42м/с 12м
Rionel DDX 25/500 18м	Rionel X 42м/с 7.8м
Rionel DDX 25/500 21м	Rionel X 42м/с 9м
Rionel DDX 25/500 24м	Rionel X 67м/с 7,8м
Rionel DDX 25/500 27м	Rionel X 100м/с 9м
Rionel DDX 25/500 30м	Rionel X 9м/с 100м
Rionel DDX 42/500 6м	Rionel X 9м/с 200м
Rionel DDX 42/500 9м	Rionel X 67м/с 7,8м

Ұлғайтылған орындықтар үшін жаппай жарылысты есептеу әдістемесі.

Адамдардың тас массасының бөліктерін ұшып кетуі үшін қауіпсіз қашықтықты есептеу

$$r_{\text{разл}} = 1250 \cdot \eta_3 \cdot \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{\text{заб}}} \cdot \frac{d}{a}} \quad (1)$$

мұндағы r дист – тау жыныстарының жекелеген бөліктерінің шашырауына байланысты адамдар үшін қауіпті есептік қашықтық;

f – тау жыныстарының беріктік коэффициенті;

η_3 – жарылғыш ұңғыманы толтыру коэффициенті;

$\eta_{\text{заб}}$ – бұрғылау саңылауының толтыру коэффициенті;

d – ұңғыманың диаметрі, мм;

a – ұңғымалар арасындағы қашықтық.

$$r_{\text{разл}} = 1250 \cdot 0,827 \cdot \sqrt{\frac{10}{1+1}} \cdot \sqrt{\frac{0,165}{5}} = 419,9 \text{ м}$$

Жабдық үшін тау-кен массасының кесектерін шашырату үшін қауіпсіз қашықтықтарды есептеу

$$R_p = 170 \cdot K_y \sqrt{\frac{q \cdot H}{l_{\text{заб}}}}, \text{ м} \quad (2)$$

мұндағы R_p – жабдық үшін қауіпті кеңейту аймағының радиусы;

K_y – жарылыс жағдайларының коэффициенті (көп қатарлы қысқа кешіктірілген жарылыс үшін 1,0-ге тең);

q – жарылғыш заттардың үлестік шығыны, кг/м³;

H – кертпештің биіктігі, м;

l аялдама – тоқтау ұзындығы, м

$$R_p = 170 \cdot 1 \sqrt{\frac{1,460 \cdot 13,3}{2,6}} = 467,4 \text{ м}$$

Тау массасы бөліктерінің шашырауын болдырмайтын жабдықтың есептелген қауіпсіз қашықтығы 500 метрді құрайды.

Енді сіз тас массасының шашырауына негізделген адамдар үшін қабылданған қауіпсіз қашықтықты есептей аласыз:

$$R_{\text{разл}} = r_{\text{разл}} \cdot K_{p, \text{ м}} \quad (3)$$

$$K_p = 0.5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot}{r_{\text{разл}}}} \right) \quad (4)$$

мұндағы H – қауіпті аймақ шекарасының учаскелерінен жарылыс алаңының жоғарғы белгісінің асуы;

г дисперсия – тау жыныстарының жекелеген бөліктерінің шашырауынан адамдар үшін қауіпті есептік қашықтық;

$$K_p = 0.5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 13.3}{419.9}} \right) = 1.02$$

$$R_{\text{разл}} = 419.9 \cdot 1.02 = 427 \text{ м}$$

Бұл тау массасының бөліктерінің шашырауына байланысты адамдар үшін қауіпсіз қашықтық 400 м деп қабылданғанын білдіреді.

- жабдық үшін

$$R_{\text{разл}} = R_p \cdot K_{p, \text{ м}} \quad (5)$$

$$K_p = 0.5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot}{R_p}} \right) \quad (6)$$

$$K_p = 0.5 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4 \cdot 13.3}{467.4}} \right) = 1.01$$

$$R_{\text{разл}} = 467.4 \cdot 1.01 = 473 \text{ м}$$

Бұл тау-кен массасының бөлшектерін шашыратуға арналған жабдық үшін қауіпсіз қашықтық 500 м деп қабылданғанын білдіреді.

6-кесте - Жарылғыш көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Өлшем бірлігі	Есептеу деректері	
		Есептеу деректері	Нақты деректер
1. Бұрғыланған ұңғымалар	шт.	206	206
қоса вертикалды	шт.	206	206
бейім	шт.	0	
2. Ұңғымалар қатарларының саны	шт.	10	
3. Ұңғылардың диаметрі	м	0,165	0,165
4. Төбенің биіктігі	м	15,1	15,6
5. Ұңғыманың тереңдігі	м	14,8	14,9
6. Артық бұрғылау мөлшері	м	0	0
7. Бір қатарда орналасқан ұңғымалардың арасындағы қашықтық	м	7	7
8. Жұптасқан ұңғымалармен 1 қатардағы ұңғымалардың арақашықтығы	м	0	0

9. 2 және одан кейінгі қатардағы ұңғымалар арасындағы қашықтық	м	7	7
10. Ұңғымалар қатарларының арақашықтығы	м	7	7
11. Табандағы қарсылық	м	3,75	3,75
12. Бұрғылау жұмыстарының көлемі	пм	3059,2	3059,20
13. Жарылған массивтің көлемі оның ішінде кен аршу	м3	34856	34856
		0	
		34856	34856
14. Ұңғыманың сағат 13.00-ден тау-кен массасын шығару	м3/пм	11,4	11,4
15. Зарядтау биіктігі	м	12,3	12,3
16. Тоқтау өлшемі	м	2,6	2,6
17. Ұңғыдағы зарядтың салмағы	кг	253,8	253,8
18. Барлығы ВВ	кг	50663	50765
	ANFO	кг	24704
Rioflex	кг	25938	25938
Нитронит П	кг	123,6	123,6
19. Инициациялық қорларды тұтыну:			
Rionel DDX 25/500 12м	шт.	84	84
Rionel X 42 м/с 6,0 м	шт.	8	8
Rionel X 9 м/с 100 м	шт.	4	4
20. Су басқан ұңғымалардың саны	шт.	87	87
21. Екінші реттік жарылыс үшін жарылғыш заттардың үлестік шығыны	кг/м3		
22. Өлшемі үлкен шығыс	%		

Қорытынды. Жару жұмыстарының экономикалық тиімділігі қолданылатын жарылғыш заттардың тиімділігімен және оларды өндірумен және пайдаланумен байланысты процестерді барынша механикаландыру мүмкіндігімен анықталады. Қауіптілігінің жоғарылауымен ерекшеленетін бұл жұмыс түрі механикаландыру деңгейінің жоғарылауымен және өнімділіктің жоғарылауымен одан да қауіпті болуы мүмкін.

Өнеркәсіптік жарылғыш заттардың арасында маңызды орынды эмульсиялық жарылғыш заттар алады, олардың негізгі артықшылықтары өндіріспен пайдалану қауіпсіздігінің ең жоғары деңгейі, тиеу процесін толық механикаландыру мүмкіндігі, энергетикалық сипаттамаларын реттеу, сонымен қатар, қол жетімділігі және төмен болуы болып табылады. Бұл жарылғыш заттардың құрамында жеке жарылғыш заттар жоқ, сондықтан қа-

уіпті жүктерді тасымалдау мен сақтаумен байланысты проблемалар жойылады.

Өнеркәсіптік жарғыштармен салыстырғанда эмульсиялық жарылғыш заттардың салмағы аз энергияға (ккал/кг) карамастан, олардың тиімділігі жоғары зарядтау тығыздығымен және соның салдарынан жарылыс энергиясының көлемдік концентрациясының жоғары мәндерімен және ұңғыманың жарылу жылдамдығымен түсіндіріледі. Нәтижесінде эмульсиялық жарылғыш заттар қатты жыныстар үшін қолайлы кернеу толқындарының алдыңғы жағындағы қысымның жоғарылауымен ғана сипатталады, бірақ құрамында сұйық фазаның (эмульсия) болуына байланысты бұл шихтадан ұсақтау тиімділігін арттырып, оларды ұзақ уақыт бойы сақтайды. Эмульсиялық жарылғыш заттарды қолданудың тиімділігі анықталды, бұл эмульгирлеуші

жарылғыш заттарды АНФО-мен біріктіріп қолдану кезінде біртекті затқа қатысты құрама шиктаның тиімділігінің жоғарылауына байланысты жоғары орындықтары бар жағдайларда бұрғылау және жару жұмыстарының тиімділігі артады. бір 15%-ға, кен шекарасының ығысуы 1,5...2,0 есе және оны қоршап тұрған тау жыныстары азаяды, жарылғыш заттардың құнын 0,9%-ға төмендеті отырып, тау-кен массасын ұсақтау сапасы жақсарды [10].

Жоғары (15 м-ден астам) стендтері бар кен өндіруге көшу кезінде ұңғымалардың бірінші қатарын артық бұрғылау көлемін анықтау үшін есептеу жүргізілді және ұңғымалардың дивергентті зарядтары бар жоғары стендтерді жару технологиясы ұсынылды, оларды пайдалану кезінде жоғары орындықтарды жару пайдалы энергияны пайдаланудың жарылыс дәрежесін және кен

мен негізгі жыныстардың шекарасының ығысуын жоғарылату арқылы жарылған тау-кен массасы бөліктерінің орташа мөлшерін азайтты, бұл пайдалы қазбаларды алу жылдамдығын 0,2%-ға арттырды.

Көмір шахталарындағы биік орындықтарды эмульсиялық жарылғыш заттарды пайдалана отырып жару үшін тиімді әдіс әзірленді, бұл жару құнын айтарлықтай төмендетуге мүмкіндік береді, өйткені жарылғыш заттардың құны кәдімгі су өткізбейтін өнеркәсіптік жарылғыш заттардың құнынан еселенген. Сонымен қатар, жарылғыш жарылғыш заттардың тағы бір өте маңызды артықшылығы бар: олар жарылыс алаңдарында дайындалады, нәтижесінде жарылғыш заттарды тасымалдау шығындары айтарлықтай төмендейді және олармен жұмыс істеу кезінде қауіпсіздік артады[11].

Әдебиеттер

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Основы горного дела: учебник / Под ред. Акад. К.Н. Трубецкого. - М.: Академический Проект, 2010. - 231 с. ISBN 978-5-8291-1123-6
2. Кутузов Б.Н., Скоробогатов В.М., Ерофеев И.Е. и др. Справочник взрывника. - М., Недра.- 1988. -511 с. ISBN 5-247-01563-0
- 3.Мышкина В.А. Наночастицы оксида церия с модифицированной кислородной нестехиометрией: структура, оптические свойства и каталитическая активность: дис. ... кандидата физико-математических наук. –Екатеринбург.- 2022. -99 с.
4. Лукьянов В.Г. Взрывные работы: учебник для вузов / В.Г. Лукьянов, В.И. Комащенко, В.А. Шмурыгин. -Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - 402 с. - ISBN 5-98298-376-4
5. Карпунов, Е.Г. и др. Теория взрыва и промышленные взрывчатые вещества: лабораторные работы/ Е.Г. Карпунов, М.А. Нефедов, Г.П. Парамонов. -Л.: ЛГИ, 1986. -74с.
6. Ксюганг В. Эмульсионные взрывчатые вещества. – Москва, Красноармейск, 2002. – 396 с. URL: <https://dokumen.pub/77a3ac5c3479f5f40aafa5fedb24da4b.html>
7. Таганова А.А., Бубнов Ю.И., Орлов С.Б. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. Оборудование для испытаний и эксплуатации: справочник. -СПб.: ХИМИЗДАТ, 2005. -264 с. ISBN 5-93808-098-3
8. Филимонов, К. А. Управление состоянием массива горных пород: практикум. -Кузбас. гос.техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева, Кемерово, 2014. -239 с. ISBN 978-5-89070-957-8
9. Вовк А.А., Черный Г.И., Кравец В.Г. Действие взрыва в грунтах. - Киев: Наукова Думка,1974. -207 с. <https://www.twirpx.com/file/4121114/>
10. А.В. Тотай и др. Теория горения и взрыва: учебник и практикум для вузов. -Москва. Изд-во Юрайт, 2024. - 254 с. ISBN 978-5-534-08180-0.

11. Проект буровзрывных работ, статья (01.08.2022). URL:<https://uralvp.ru/stati/proekt-burovzryvnyh-rabot/>

References

1. Trubeckoj K.N., Galchenko Ju.P. Osnovy gornogo dela: Uchebnik / Pod red. Akad. K.N. Trubeckogo. — M.: Akademicheskij Proekt, 2010.-231 s.ISBN 978-5-8291-1123-6 [in Russian]
2. Kutuzov B. N., Skorobogatov V. M., Erofeev I. E. I dr. Spravochnik vzryvnika. - M., Nedra, 1988, -511 c. ISBN: 5-247-01563-0 [in Russian]
3. Myshkina V.A. Nanochasticy oksida cerija s modificirovannoj kislorodnoj nestehiometriej: struktura, opticheskie svoystva i kataliticheskaja aktivnost': dis. ... kandidata fiziko-matematicheskikh nauk. - Ekaterinburg, 2022. -99 s. [in Russian]
4. Luk'janov V.G. Vzryvnye raboty: uchebnik dlja vuzov / V.G. Luk'janov, V.I. Komashhenko, V.A. Shmurygin. -Tomsk: Izd-vo TPU, 2008. -402 s. - ISBN 5-98298-376-4 [in Russian]
5. Karpunov, E.G. i dr. Teoriya vzryva i promyshlennye vzryvchatye veshhestva : laboratornye raboty. / E.G. Karpunov, M.A. Nefedov, G.P. Paramonov . - L.: LGI, 1986. - 74 c [in Russian]
6. Ksjuguang V. Jemul'sionnye vzryvchatye veshhestva Moskva – Krasnoarmejsk, 2002. – 396 c. URL: <https://dokumen.pub/77a3ac5c3479f5f40aafa5fedb24da4b.html> [in Russian]
7. Taganova A.A., Bubnov Ju.I., Orlov S.B. Germetichnye himicheskie istochniki toka: Jelementy i akumuljatory. Oborudovanie dlja ispytanij i jekspluatacii: spravochnik. – SPb.: HIMIZDAT, 2005. – 264 s ISBN 5-93808-098-3[in Russian]
8. Filimonov, K. A. Upravlenie sostojaniem massiva gornyh poro: praktiku. -Kuzbas. gos.tehn. un-t im. T.F. Gorbacheva, Kemerovo, 2014. -239 s. ISBN 978-5-89070-957-8 [in Russian]
9. Vovk A.A., Chernyj G.I., Kravec V.G. Dejstvie vzryva v gruntah. - Kiev: Naukova Dumka,1974. -207 s. <https://www.twirpx.com/file/4121114/> [in Russian]
10. A.V. Totaj i dr. Teoriya gorenija i vzryva: uchebnik i praktikum dlja vuzov. -Moskva. Izd-vo Jurajt, 2024. - 254 s. ISBN 978-5-534-08180-0. [in Russian]
11. Proekt burovzryvnyh rabot, stat'ja (01.08.2022). URL: <https://uralvp.ru/stati/proekt-burovzryvnyh-rabot/> [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Қаржауова Э.Қ. - техникалық ғылымдарының магистрі, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: karzhauova.81@mail.ru;

Мейрам Д.Д. - техникалық ғылымдар магистрі, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: dico.05.19@mail.ru;

Нұртай Ж.Т. - PhD доктор, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru;

Хамит А.Ж. - химиялық ғылымдарының магистрі, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: aytolkyn.khamit-76@mail.ru;

Қалыхбергенова С.Ж. - аға оқытушы, Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: kalyhbergenova.s@mail.ru

Information about the authors

Karzhauova E.K. - master of technical sciences, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: karzhauova.81@mail.ru;

Meiram D.D. - master of Technical Sciences, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: dico.05.19@mail.ru;

Nurtai J.T. - PhD, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru;

Khamit A. - master of chemical sciences, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: aytolkyn.khamit-76@mail.ru;

Kalyhbergenova S.J. - senior lecturer, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: kalyhbergenova.s@mail.ru

SHS ӘДІСІМЕН СИНТЕЗДЕЛГЕН КАТАЛИЗАТОРЛАРДЫ ӘРТҮРЛІ ЖАҒДАЙДА САЛҚЫНДАТУДЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

^{1,2}Е.Б. Асылбеков✉, ^{1,2}С.А. Тунгатарова, ³G.G. Xanthopoulou, ^{1,2}Т.С. Байжуманова,
¹М. Жумабек

¹Д.В. Сокольский атындағы отын, катализ және электрохимия институты, Алматы, Қазақстан,

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

³National Center for Scientific Research «Demokritos», Athens, Greece

✉Корреспондент-автор: yer-asyl@mail.ru

Өзін-өзі тарататын жоғары температуралы синтез (SHS) әдісі заманауи керамика, металаралық қосылыстар, катализаторлар және магниттік заттарды қоса алғанда, әртүрлі инженерлік және функционалды материалдардың үнемді өндірісін жеңілдету үшін бүкіл әлемде дамып келеді. Бұл әдіс өз өзімен жануын қолдайтын реакцияларға негізделген, олар өте қысқа мерзім ішінде жүреді және материалдар ішіндегі өте жоғары ішкі температураға ие болады. Демек, SHS дәстүрлі әдістерге қарағанда бірқатар артықшылықтарды ұсынады, соның ішінде энергия шығындарын айтарлықтай азайту, қоршаған ортаға зиян әсерін азайту, өндіріс процестерін жеңілдету және ерекше қасиеттері мен сипаттамалары бар материалдарды жасау. Бұл мақала SHS әдісін зерттейді, оның артықшылықтарын атап көрсетеді және сутекті өндіру және метанолды конверсиялау үшін жоғары белсенді катализаторларды әзірлеу сияқты бірнеше экологиялық маңызды қолданбаларды қарастырады. Сонымен қатар, SHS қоршаған орта температурасында басталып, аяқталуы мүмкін болғандықтан, ол улы немесе радиоактивті материалдармен және ластанған заттармен жұмыс істеуде тиімді, бұл әдіс әйнектеу, шоғырландыру және қауіпті қалдықтарды инкапсуляциялау арқылы кең қорғаныс жабындарын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, бұл әдіс әртүрлі спирттер мен көмірсутектердің бу конверсиясының катализаторларын синтездеуде жақсы нәтиже көрсетті.

Түйін сөздер: көмірсутектер, спирттер, мыс негізіндегі катализаторлар, SHS әдісі, сутегі.

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТА ОХЛАЖДЕНИЯ КАТАЛИЗАТОРОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ SHS, В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

^{1,2}Е.Б. Асылбеков✉, ^{1,2}С.А. Тунгатарова, ³G.G. Xanthopoulou,
^{1,2}Т.С. Байжуманова, ¹М. Жумабек

¹Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского, Алматы, Казахстан,

²Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

³National Center for Scientific Research «Demokritos», Athens, Greece,

e-mail: yer-asyl@mail.ru

Метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) развивается во всем мире, чтобы облегчить экономичное производство различных инженерных и функциональных материалов, включая современную керамику, интерметаллические соединения, катализаторы и магнитные вещества. Этот метод основан на реакциях самоподдерживающегося горения, которые за очень короткий период создают чрезвычайно высокие внутренние температуры внутри материала. Следова-

тельно, СВС предлагает ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами, включая значительное снижение затрат на электроэнергию, снижение воздействия на окружающую среду, упрощение производственных процессов и создание материалов с отличительными свойствами и характеристиками. В этой статье исследуется метод СВС, подчеркиваются его преимущества и рассматриваются несколько экологически важных применений, таких как разработка высокоактивных катализаторов для производства водорода и конверсии метанола. Кроме того, поскольку СВС можно начинать и завершать при температуре окружающей среды, он эффективен для обращения с токсичными или радиоактивными материалами и загрязненными объектами, позволяя формировать на месте обширные защитные покрытия или путем остекления, консолидации и инкапсуляции опасных отходов. Также этот метод отлично показал себя при синтезе катализаторов паровой конверсии различных спиртов и углеводов.

Ключевые слова: углеводороды, спирты, катализаторы на основе меди, метод СВС, водород.

STUDYING THE EFFECT OF COOLING CATALYSTS SYNTHESIZED BY SHS METHOD UNDER DIFFERENT CONDITIONS

^{1,2}Y.B. Assylbekov✉, ^{1,2}S.A. Tungatarova, ³G.G. Xanthopoulou,
^{1,2}T.S. Baizhumanova, ¹Zhumabek M.

¹JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan,

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,

³National Center for Scientific Research «Demokritos», Athens, Greece,

e-mail: yer-asyl@mail.ru

The self-propagating high-temperature synthesis (SHS) technique is being advanced globally to facilitate the economical production of various engineering and functional materials, including modern ceramics, intermetallic compounds, catalysts, and magnetic substances. This technique relies on self-sustaining combustion reactions, which generate extremely high internal temperatures within the material in a very brief period. Consequently, SHS offers several benefits over traditional methods, including significantly reduced energy costs, lower environmental impact, simplified production processes, and the creation of materials with distinctive properties and characteristics. This paper explores the SHS method, highlighting its benefits and examining several environmentally relevant applications, such as the development of highly active catalysts for hydrogen production and methanol conversion. Additionally, because SHS can be initiated and completed at ambient temperatures, it is effective for managing toxic or radioactive materials and contaminated sites by enabling on-site formation of extensive protective coatings or by glazing, consolidating, and encapsulating hazardous waste. Also, this method has shown itself to be excellent in the synthesis of catalysts for steam reforming of various alcohols and hydrocarbons.

Keywords: hydrocarbons, alcohols, Cu-based catalysts, SHS method, hydrogen.

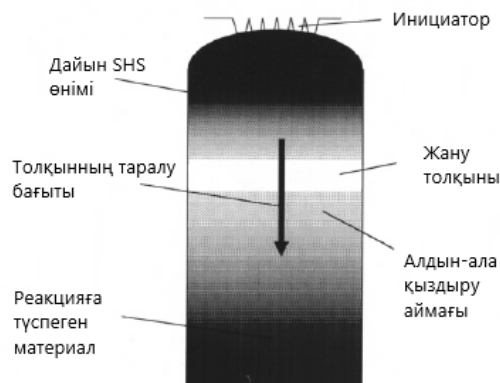
Кіріспе. Өзін-өзі тарататын жоғары температуралы синтез (SHS) әдісі – бұл бақылаулы жану синтезінің бір түрі болып табылады және қазір көптеген елдерде кеңінен қолданылады. Бұл салыстырмалы түрде жаңа әдіс болғандықтан, көптеген қосымша зерттеулер мен бақылауларды талап етеді [1]. SHS процесі өте экзотермиялық,

қатты жалынды реакцияларын пайдалана отырып, ұнтақ компоненттері арасында басқарылатын жоғары температуралы жану арқылы көптеген бірегей материалдарды (катализаторларды) синтездейді. Ол алғаш рет 1967 жылы бұрынғы Кеңес Одағында жарияланды, бірақ әлемге тек 70-жылдардың басында белгілі болды. SHS-ті

қолдана отырып, материалдардың құрамы, құрылымы және қасиеттері көптеген қолданбалар талаптарына сәйкес келетіндей етіп реттелуі мүмкін. Жануды бастау химиялық жолмен немесе электрлік қыздырылған элемент арқылы жүзеге асады. Жану басталғаннан кейін, ол өзін-өзі ұстап, басталу жағынан қарама-қарсы жағына қарай сығылған материал арқылы жану толқыны өтеді және бірнеше секундтан бірнеше минутқа дейінгі уақытта аяқталады [2, 3]. Үлгі бөлме температурасында немесе салыстырмалы түрде төмен температурада – сирек 1000°C жоғары – алдын ала қыздырылған болуы мүмкін [4, 5]. Таралып жатқан толқынның алдындағы материал жану нәтижесінде бөлінетін жылумен алдын ала

қыздырылады, ал жану фронтының артындағы материал толқын өткен кезде тез салқындайды. SHS процесінің схемалық диаграммасы 1-суретте көрсетілген. SHS негізгі принциптері ретінде келесілерді айтуға болады:

- Процесс реакциялары арқылы қажетті құрам мен құрылымдағы өнімдерді тез автотолқындық жандыру;
- Химиялық реакцияларда бөлінетін ішкі жылу пайдалану арқылы сыртқы энергия көзін толық немесе ішінара жою;
- Жылу бөліну және тасымалдану жылдамдығын өзгерту арқылы процесінің жылдамдығын, температурасын, конверсия дәрежесін және өнімдердің құрамы мен құрылымын бақылау.



1-сурет - SHS процесінің схемалық көрнекі сызбасы

Бұл принциптер дәстүрлі өңдеу әдістеріне қарағанда елеулі артықшылықтар береді. Көптеген жағдайларда SHS дәстүрлі әдістермен салыстырғанда төмен өндіріс шығындары және өндірістік артықшылықтармен, сондай-ақ, микроструктура мен жоғары қасиеттерімен үлкен пайда ұсынады.

Химиялық қосылыстарды, оның ішінде органикалық қосылыстарды сутегіге айналдыру процесі каталитикалық риформинг арқылы жүзеге асырылады. Бұл процеске қысқаша тоқтала кететін болсақ: қазіргі таңда үш дара түрі қолданылады – автотермиялық риформинг, ішінара тотықтандыру және бу риформингі әдістері.

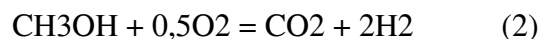
Автотермиялық риформинг кезінде бір уақытта екі түрлі реакция [6] қатар жүреді: эндотермиялық бу риформингі мен экзотермиялық толық

тотығу реакциясы. Соның нәтижесінде процесінің энтальпиясы нөлге жақын болады да, реакция (1) сыртқы жылу беруді қажет етпейді:



$$\Delta_r H_0 \sim 0 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$$

Метанолдың оттегімен ішінара тотығуы [7] экзотермиялық жолмен жүреді және реакция (2) аймағынан бөлінетін жылуды кетіруді (бөліп шығаруды) қажет етеді:



$$\Delta_r H_0 = +192 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$$

Метанолдың булы риформингі [8] эндотермиялық реакция (3) болып табылады және реакция аймағына жылу беруді қажет еткенімен, қолдануға ыңғайлы және арзан әдіс болып келеді:



$$\Delta_r H^0 = -49.4 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$$

Ал құрамында мысы бар катализаторларды қолдану булы реформинг процесін 200-400 °С температурада жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл жағдайда метанолды 100% конверсиялау үшін реактивтердің катализатор қабатымен жанасуы ұзақтығы 0,1-1 секундтан аспайтын уақыт жиі жеткілікті болып келеді.

Осы процеске сайма сай катализаторды SHS, яғни өздігінен таралатын жоғары температуралы синтез әдісі бойынша дайындадық. Өздігінен таралатын жоғары температуралық синтез (SHS) конденсацияланған жүйелердің бақыланатын жануына негізделген. Ұнтақтардың мұқият жобаланған және бақыланатын қоспаларының өзін-өзі қамтамасыз ететін экзотермиялық жануы кезінде синтез температурасы реакцияның өте қысқа болып келетін жалпы алғандағы уақытында 1500-3000 °С жетуі мүмкін, яғни бірнеше секунд ішінде ғана [9]. Бұл мезетте «жану» процесі алынған үлгі бойымен жану толқынының таралуы түрінде жүреді. Аталған жағдайларда синтезделген материалдар кристалдық тор ақауларының өте жоғары құрамымен сипатталады. Бұл катализатордың белсенділігін анықтайтын өте маңызды каталитикалық сипаттама болып табылады, өйткені олар катализ үшін белсенді учаскелер ретінде әрекет етеді. Жану толқыны өткеннен кейін толқындық «фронттың» артында қалған материал салқындай бастайды [10]. Синтезделген катализатордың соңғы құрылымы мен құрамы салқындату жылдамдығы мен сипатына байланысты өзгереді. Құрылымдық және химиялық конверсияның бес аймағын бөлуге болады. V аймақ салқындату аймағы болып табылады және материалдардың құрамы әлі де өзгеретіні анық. Үлгіні әртүрлі жылдамдықтар мен шарттарда (минутына бірнеше жүзден жүздеген мың градусқа дейін) салқындату композициялар ауқымын алуға, со-

нымен қатар, тор ақауларының концентрациясын өзгертуге мүмкіндік береді.

SHS өнімдерін термогравиметриялық талдау жану толқынының бойында бастапқы ұнтақтардың көп жағдайда толық реакцияға түсіп үлгермейді деген тұжырымға келтіреді. Талдаулардың қорытындылары көрсеткендей, синтез өнімдері Al, CuCO₃, MgCO₃, және т.б. сияқты ыдырау және тотығу температуралары салыстырмалы түрде алғанда төмен (500-900 °С) болып келетін қосылыстардан тұрады. Әдетте қосылыстардың жану температурасы 1300 °С-2500 °С арасындағы шаманы көрсетеді, бұл көптеген жағдайларда бастапқы ұнтақтардың реакцияға түсіп үлгермей, толық ыдырайтынын көрсетеді [11]. Осы жаңалықтардың нәтижесінде синтез жүргеннен кейінгі салқындату жылдамдығының өзгеруі жану процесінің ұзақтығы мен тереңдігінің өзгеруі нәтижесінде катализатордың микроқұрылымы мен қасиеттерінің әртүрлі болып шығуы белгіленді.

Бұл жағдай материалдардың каталитикалық белсенділігіне айтарлықтай әсер етеді деп күтілді. Каталитикалық белсенділікті көрсететін SHS әдісімен дайындалған катализаторлармен эксперименттер жүргізілді.

Материалдар мен әдістер. Катализаторлар өздігінен таралатын жоғары температуралы синтез (self-propagating high temperature synthesis - SHS) әдісімен дайындалды. Біріншіден, катализаторды синтездеуге арналған ұнтақтарды дайындап аламыз. Ол үшін метал күйіндегі таза алюминий (Al) мен мыс (I) оксидінің (Cu₂O) ұнтақтары белгілі мөлшер мен қатынаста өлшеніп алынды. Содан соң өлшенген ұнтақтар араластырылып, 50 бар қысым астында гидравликалық престің күшімен нығыздап «таблетка» пішініне келтірдік.

Дайындалған таблетканы алдын ала 700 °С температураға дейін тұрақты қыздырып қойылған муфель пешіне енгіздік. Синтез реакциясы лезде басталып, жүріп кетуі үшін реакцияның инициаторы ретінде 1 г таза магний (Mg) ұнтағын таблетканың үстіне қойдық. 10 секунд өткеннен кейін синтез магний тұтанып, синтез реакциясының инициациясы басталды. Пешке енгізілген термopара арқылы синтез реакциясының өту темпера-

турасын бақылап, тіркеп алдық.

Зерттеу жұмыстарының барысында жоғарыда аталған Al-Cu-O жүйелерінің негізіндегі материалдар бірдей жағдайларда SHS-жануына ұшырады және реакциядан кейін әртүрлі жағдайларда суытылды: пеш ішінде, ауада (бөлме температурасында), азот (N₂) қысымының астында. Осы жағдайлардың синтезделген катализатордың құрылымы мен белсенділігіне ықпалы алдағы уақытта метанолдың каталитикалық риформинг процесіне қалай әсер ететіндігі бақыланды.

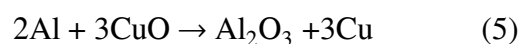
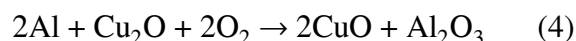
Каталитикалық риформингке дейінгі бастапқы қоспаны және процестен кейінгі реакция өнімдерін талдау «Chromos GC-1000» (Ресей) хроматографының көмегімен жүргізілді, ол саптам және капиллярлық колонкалармен жабдықталған. H₂, O₂, N₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄, C₃-C₄ көмірсутектер, CO және CO₂ талдау үшін оралған баған қолданылады.

Катализаторларды синтездеу және оларға физика-химиялық зерттеулер «Демокритос» Ұлттық Ғылыми-Зерттеу Орталығының (Афины қ., Греция) жетілдірілген керамика және композициялар зертханасында жүргізілді. Синтезделген катализаторлар ішкі стандарты ретінде 10% KCl және CuKa1 сәулеленуін қолданатын жартылай сандық Siemens Spellman DF3 спектрометрінде рентгендік дифракция (XRD) талдаулары жүргізілді. Катализаторлардың меншікті бетінің ауданын Брунауэр-Эмметт-Теллер әдісімен өлшенді (BET әдісі). Сонымен қатар, катализатор үлгілері сканерлеуші электронды микроскопия әдісімен (СЭМ) зерттелді.

Катализаторлар атмосфералық қысым астында диаметрі 10 мм, ал ұзындығы 40 см болатын тұрақты қабаты бар кварц реакторында сыналды. Катализатор (2 мл) кварц түйіршіктері арасын-

да құбырлы реакторға орналастырылды. Реактор ішіндегі катализатордың тұтастығын сақтап қалу мақсатында оның екі жағынан «Эйнектелген» мақта қабаттары орналастырылды.

Нәтижелер мен талқылау. SHS жануы кезіндегі реакциялардың өнімділігіне лаулап жану аяқталғаннан кейінгі үлгіні салқындату немесе суыту жылдамдығы тікелей әсер етеді. Біз қарастырып отырған жағдайда, яғни Al-Cu-O жүйесіндегі негізгі химиялық реакциялар келесідей:



Алғашқы үш реакция көбінесе SHS процестеріне тән, ал төртіншісі болса жанудан кейінгі өңдеу аймағында жүреді. Сонымен, жоғарыда келтірілген катализатор синтездеу процесі кезінде жүретін реакциялардан көруге болатындай, үлгіні салқындату жылдамдығы төмендеген сайын мыс көбірек тотығады. Егер синтезден кейін үлгі пеште жоғары температурада ұсталса, онда барлық реакциялардың аяғына дейін толық жүруіне мүмкіндік туады. Алайда, егер қарастырылып отырған үлгі жану реакциясынан, яғни синтезден кейін бірден салқындатылатын болса, онда реакциялардың барлығы немесе кейбіреуі тоқтайды және аяғына жете алмайды. Реакцияның аяқталу дәрежесі салқындату жылдамдығына тікелей байланысты екені белгілі болды. Әртүрлі жағдайдағы салқындатудың катализатордың белсенділігі мен құрылымына әсері көрнекі түрде 1-3-кестелерде көрсетілген.

1-кесте - Салқындату жағдайларының мыс негізіндегі катализаторлардың құрамына әсері

Салқындату жағдайлары	Катализатор құрамы, %		
	CuAl ₂ O ₄	CuO	Cu
N ₂	27	47	26
Ауа	24	61	15
Пеш	23	74	3

2-кесте - Салқындату жағдайларының мыс негізіндегі катализаторлардың метанолдың риформинг процесіндегі белсенділігіне әсері

Метанол конверсиясы, %	Сутегі селективтілігі, %
88,5	91,2
79,2	77,9
71,7	63,8

3-кесте - Салқындату жағдайларының мыс негізіндегі катализаторлардың физикалық қасиеттеріне әсері

Физика-механикалық қасиеттері	
Қысу беріктігі, МПа	Меншікті бетінің ауданы, м ² /г
24	0,8
17	1,2
11	1,5

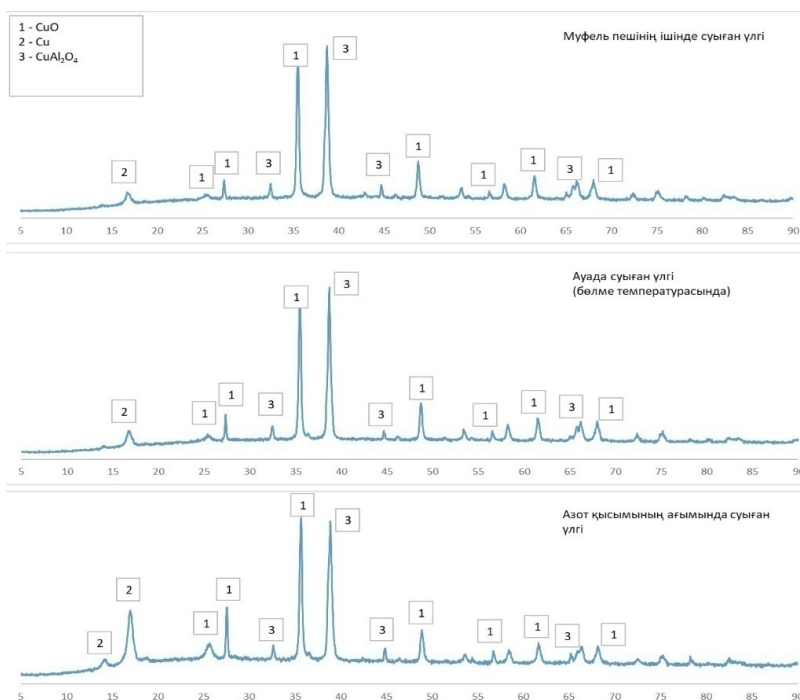
Al-Cu-O жүйесінің негізінде синтезделген катализатордың талдауы соңғы SHS өніміндегі мыстың ең үлкен үлесі салқындату жылдамдығы ең жоғары болған кезде, яғни үлгіні қысымдағы азоттың астында салқындатуы кезінде болатынын көрсетті. Рентгендік құрылымды талдау азоттың катализатор бетіндегі ашық саңылауларына еніп, кеңірек, жылдамырақ және біркелкі салқындатуға әкелетінін, осылайша катализаторда мыстың көбірек және біркелкі таралуын қамтамасыз ететінін көрсетті (1-кесте).

Үлгіні ауада салқындату алғашқы жағдайға қарағанда айтарлықтай төмен жылдамдықпен жүреді, сондықтан металл мыс мөлшері азаяды (1-кесте). Ал катализаторды муфель пешінде үлгі толық суығанға дейін ұстаған кезде дайын болған катализатор құрамында мыс іздері ғана байқалды (1-кесте). Бұл бақылаулардың барлығы рентгендік-сандық талдау деректерімен расталды (2-сурет). Салқындату жағдайларын өзгерту арқылы мыс концентрациясын 1-ден 27%-ға дейін өзгертуге болатындығын көрсетті. Нәтижесінде катализаторлардың физикалық-механикалық қасиеттері де өзгерді (3-кесте) және азот қысымымен суыту өте жоғары қысу беріктігін берді, бірақ меншікті бетінің ауданы төмен болды.

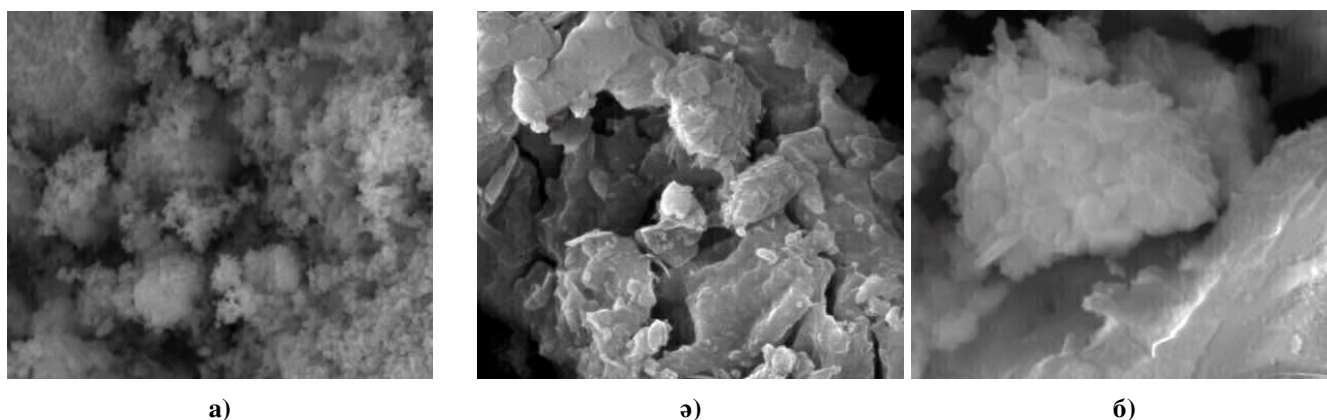
Үлгілерді салқындату жылдамдығы катализа-

торлардың қасиеттеріне тікелей әсер етеді, өйткені құрамы мен құрылымының өзгеруі белсенділіктің өзгеруіне әкеледі. Жоғары салқындату жылдамдығында кристалдық тордың құрылымдық ақаулары көбірек пайда болады (ақаулар катализаторлардың белсенді орталықтары болып табылады), бұл материалдың белсенділігін арттырады. Дегенмен, катализатордың соңғы белсенділігі екі параметрге де байланысты: ақаулы құрылым және композиция. Мысалы, дегидрлеу жағдайында ең маңызды параметр катализатордағы мыс мөлшері болып табылады. Al-Cu-O жүйесі жағдайында ең белсендісі 27% Cu (азот ағынында салқындатылған) бар катализатор болды, бұл жағдайда сутегінің селективтілігі 91,2% құрады (2-кесте).

SHS жану процесінен кейін азотта, ауада және пештің ішінде ұзақ уақыт салқындату композицияның құрамдық сипаттамасын өзгертпесе де, сол құрамның сандық көрсеткіштерінің өзгеруіне әкелді. 2-суреттегі рентген спектрлерінде көрсетілгендей, ауада немесе пеште салқындату CuAl_2O_4 мөлшеріне әсер етпейтін сияқты, бірақ CuO мөлшерін көбейтіп, ал Cu мөлшері азотпен салқындатылған үлгіде біршама артады. Мұны жоғарыда айтылған SHS кезінде және одан кейінгі негізгі реакциялар тізбегін қарастыру арқылы түсінуге болады.



2-сурет - Әртүрлі жағдайларда салқындатылғаннан кейінгі Al-Cu-O катализаторлар сериясының рентгендік құрылымдық спектрлері



3-сурет - SHS жануынан кейінгі әртүрлі жағдайларда салқындатқаннан кейінгі Cu-Al-O катализаторлар сериясының сыну бетінің сканерлеуші электронды микрографтары: а) 700°C дейін қыздырылған муфель пешінің ішінде салқындатылған, ә) ашық ауада (бөлме температурасында) салқындатылған, б) азот қысымының ағынында салқындатылған үлгілер

Алынған катализаторлардың сапалық құрамы ұқсас болды, бірақ фазалық қатынасы бойынша әр түрлі екенін байқадық. Фазалар арасындағы шамаланған қатынастар рентген сәулесінің салыстырмалы қарқындылығы арқылы анықталды.

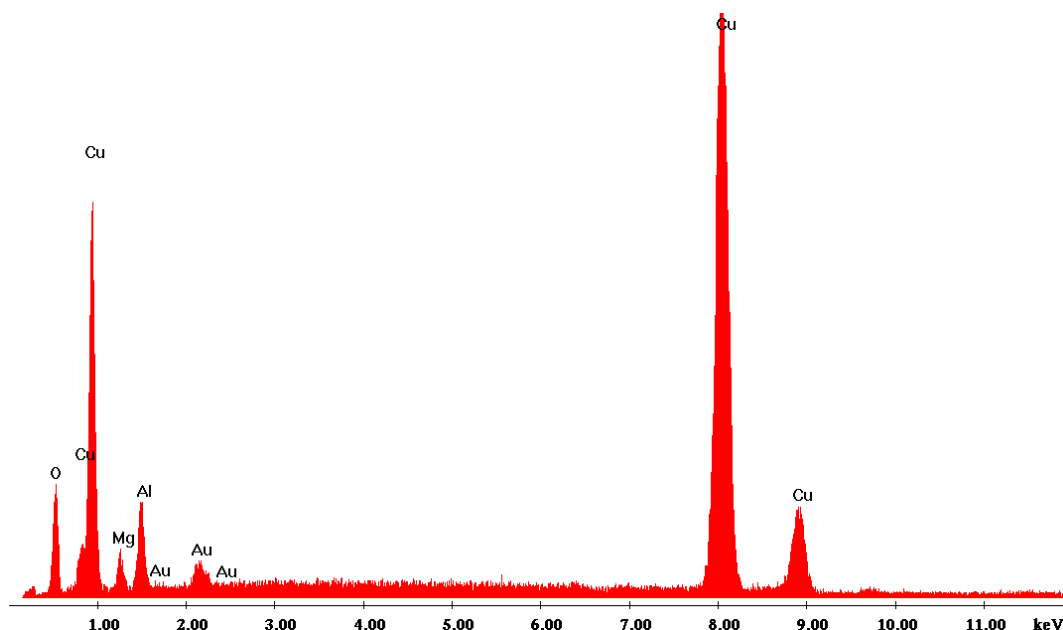
Бастапқы CuO мен Al SHS жануына негізделіп жүргізілген тәжірибелер (біркелкі бастау үшін өте аз мөлшерде Mg қосылған) де физика-

химиялық қасиеттер мен каталитикалық белсенділіктің салқындату жағдайларына тәуелділігін көрсетті. Материалдардың сканерлеуші электронды микроскопиясы негізгі себептердің біркелкі емес салқындатумен, сондай-ақ, материалдың бетіне жақын жерде микрожарықтардың пайда болуына және таралуына әкелетін салқындату кезіндегі термиялық соққымен байланысты

болуы мүмкін екенін көрсетті. Суығаннан кейінгі катализатордың қысу беріктігінің міндері айтылған тұжырымдамалардың жақсы көрсеткіші болып табылады. Азот ағынында салқындатылғаннан кейін (үлгінің бетіндегі максималды салқындату жылдамдығына ие) өлшенген беріктік шамамен 24МПа болды. SHS синтезінен кейін бөлме температурасындағы ауада салқындатылған және 700°C температуралы пеште салқындатылған материалдардың қысымға беріктігі сәйкесінше 17МПа және 11МПа дейін баяу азайды. Бұл сканерлеуші электронды микроскопия әдісімен жасалған талдаулардың нәтижелерінен байқалатын микроқұрылымның өзгеруіне байланысты болуы мүмкін деген тұжырымға келдік (3-сурет). Бұл бақылаулар пештің ішіндегі температурада суыту шыны тәрізді фазаны төмендетінін, атомдық диффузия арқылы кристалдануға ықпал ететінін көрсетеді, бұл үлгінің жақсы

адгезиясына және жоғары беріктігіне әкеледі. Дегенмен, пештің ішінде ұзақ уақыт ұстау кристалдық бөлшектердің өсуіне әкеледі де қысым беріктігін төмендетеді.

Синтезделген Cu-Al-O катализаторларының каталитикалық белсенділігі бөлме температурасындағы ауада, азот ағынының астында, сондай-ақ, 700°C дейін қыздырылған пеште салқындатылғаннан кейін зерттелді. Пеште салқындату каталитикалық белсенділікті айтарлықтай төмендететіні анықталды. Осыған дейін қарастырылған СЭМ бақылаулары бұл заңдылық микроқұрылымның өзгеруінен, әсіресе дәндрдің дамуы мен кристалдануынан туындауынан болуы мүмкін екендігін көрсетті. Ауада және азот ағынының астында (4-сурет) қатаю микроқұрылымның дамуын тоқтатады және кристалдану толық емес болып шығады.



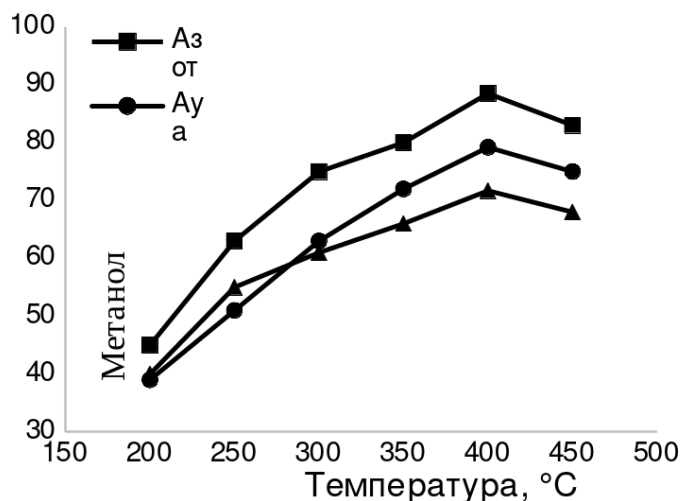
4-сурет - Азот ағынында суытылған катализатордың элементтік құрамы

Екінші жағынан, SHS реакциясынан кейін пеште ұзақ уақыт ұстап салқындату микроқұрылымның толық дамуына мүмкіндік береді және «дәндрдің» дамуы мен өсуіне мүмкіндік береді. Жылдам салқындату ақаулы құрылымның пайда болуына әкелуі мүмкін және бұл ақаулар белсенділіктің негізі болады да, катализатордың

белсенді орталықтары ретінде әрекет етеді. Дегенмен, бұл микроқұрылымдық деңгеймен теңестіріледі, сондықтан белгілі бір процестің белсенділігі максималды болатын оңтайлы салқындату жылдамдығы болуы керек. Сонымен қатар, ұзақ уақыт бойы қызып тұрған пештің ішінде суыту микротор немесе интерфейстер арқы-

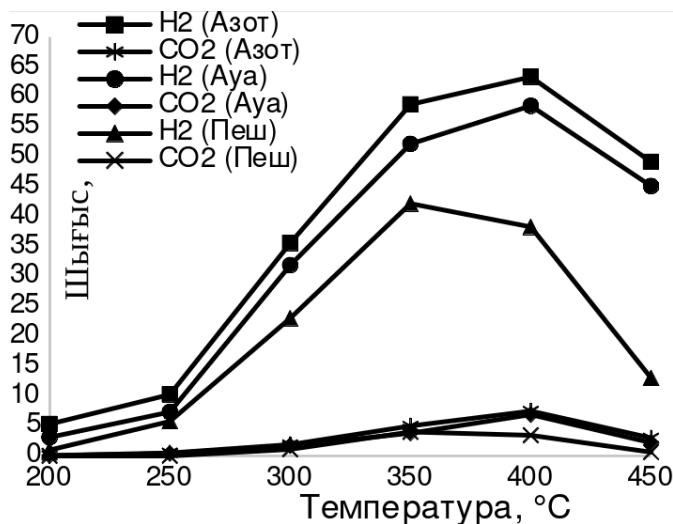
лы атомдардың диффузиясына ықпал етіп, «ақулардың» концентрациясын төмендетеді. 5 және 6-суреттерде көрсетілген нәтижелерді ескере оты-

рып, SHS синтезінен кейін катализаторды оңтайлы салқындату жылдамдығы – азот ағынының астында салқындату екені анықталды.



5-сурет - Әртүрлі жағдайларда салқындағаннан кейін бірдей Cu-Al-O катализаторы үшін температураға байланысты метанолдың конверсиясы

5-суретте көрініп тұрғандай катализаторды салқындату жылдамдығы артқан сайын, метанолдың конверсиясы да арта түседі. Ерекше атап өтетін жайт – конверсия температурасының төмен болуы.



6-сурет - Әртүрлі жағдайларда салқындағаннан кейін бірдей Cu-Al-O катализаторы үшін температураға байланысты H₂ мен CO₂ шығымы

Осылайша, метанолдың каталитикалық риформинг процесі арқылы сутегі мен көміртегінің қос тотығына дейін конверсиялану реакциясының оңтайлы шарттары анықталды: T=400, P=0,27 бар, V=100 мкл\мин, шикізат пен энергияны

ұтымды тұтыну кезінде өнімнің максималды шығымдылығын алу үшін, реакция қоспасындағы заттардың қатынасы CH₃OH:H₂O=2,5:1 болды.

Қорытынды. Осылайша, өздігінен таралатын жоғары температуралық (SHS) синтезінен кей-

інгі үлгілерді салқындату мен суыту жағдайлары катализаторлардың физикалық қасиеттері мен каталитикалық белсенділігіне айтарлықтай әсер етеді. Жүйеге байланысты салқындату жылдамдығының өзгеруі SHS катализаторларының құрамын да, құрылымын да өзгерте алады. Әр түрлі салқындату жағдайларын қолдана отырып жүргізілген тәжірибелер метанолдың сутегіге дейін конверсиялану процесінің каталитикалық белсенділігі арту үшін оңтайлы салқындату жағдайлары мен жылдамдығы бар екенін көрсетті. Бұл құбылыстың негізгі механизмдері құрам-

ның, микроқұрылымның және ақаулардың концентрациясының өзгеруіне байланысты екені белгілі болды. Осы зерттеудің нәтижелері SHS катализаторларының репродуктивтілігін, қасиеттерін және каталитикалық белсенділігін жылдамдықпен салқындату жағдайларын бақылау арқылы арттыруға болатынын растайды.

Қаржыландыру. Зерттеу Қазақстан Республикасы ғылым және жоғары білім министрлігінің қаржылық қолдауымен орындалды (AP19677006).

Әдебиеттер

1. Vekinis G., Xanthoulou G. An overview of some environmental applications of self-propagating high-temperature synthesis.// *Advances in environmental research.* -2001.-Vol. 5(2). -P.117-128. DOI 10.1016/S1093-0191(00)00048-.
2. Peizhong F., Xuanhui Q., Farid A., Islam S.H. Self-propagating high temperature synthesis of MoSi₂ matrix composites// *Rare metals.*- 2006.-Vol. 25(3).- P. 225-230. DOI 10.1016/S1001-0521(06)60044-2
3. Wang C., Yu F., Zhu M., Tang C., Zhang K., Zhao D., Dong L., Dai B. (2019) Highly selective catalytic reduction of NO_x by MnO_x-CeO₂-Al₂O₃ catalysts prepared by self-propagating high - temperature synthesis // *Journal of Environmental Sciences.*-2019.-Vol.75.- P.124-135. DOI 10.1016/j.jes.2018.03.011
4. Aghajanyan N.N., Dolukhanyan S.K., Ter-Galstyan O.P., Muradyan G.N., Hovhannisyan A.A. Self-propagating high-temperature synthesis of MAX phases in Ti-Zr-Al-C system.//*Ceramics international.*-2023.- Vol.49(14):24165-24170.-P. 24165-24170 DOI 10.1016/j.ceramint.2022.11.041.
5. Sanches-Rodriguez D., Yamaguchi S., Ihara D., Yamaura H., Yahiro H. (2017) Self-propagating high-temperature synthesis of highly dispersed noble metals on ceria powder: Application to Pd/CeO₂ catalyst //*Ceramics International.* -2017.- Vol. 43(16). -P.14533-14536. DOI 10.1016/j.ceramint.2017.07.208
6. Hos T., Srour G., Herskowitz M. Autothermal reforming of methanol for on-board hydrogen production in marine vehicles//*International journal of hydrogen energy.*-2024.-Vol. 49.- P. 1121-1132. DOI 10.1016/j.ijhydene.2023.08.315.
7. Cubeiro M.L., Fierro J.L.G. Partial oxidation of methanol over supported palladium catalysts// *Applied Catalysis A: General.*-1998.- Vol. 168(2).- P. 307-322. DOI 10.1016/S0926-860X(97)00361-X
8. Kang J., Song Y., Kim T., Kim S. Recent trends in the development of reactor systems for hydrogen production via methanol steam reforming //*International journal of hydrogen energy.* -2022.-Vol. 47. - P.3587-3610. DOI 10.1016/j.ijhydene.2021.11.041.
9. Xanthopoulou G., Vekinis G. Deep oxidation of methane using catalysts and carriers produced by self-propagating high-temperature synthesis//*Applied Catalysis A: General.*// -2000.- Vol. 199(2). - P.227-238.

DOI 10.1016/S0926-860X(99)00562-1

10. Hirano T., Purwanto H., Watanabe T., Akiyama T. Self-propagating high-temperature synthesis of Sr-doped LaMnO₃ perovskite as oxidation catalyst//Journal of Alloys and Compounds.-2007.-Vol. 441. – P. 263-266. DOI 10.1016/j.jallcom.2006.09.093

11. Guan B., Lin H., Zhan R., Huang Z. Catalytic combustion of soot over Cu, Mn substitution CeZrO_{2-δ} nanocomposites catalysts prepared by self-propagating high-temperature synthesis method//Chemical Engineering Science.-2018.- Vol. 189. – P. 320-339.

DOI 10.1016/j.ces.2018.05.063

Авторлар туралы мәліметтер

Асылбеков Е.Б. - т.ғ. магистрі, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің PhD докторанты, Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, тотығу катализі зертханасының ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, e-mail: yer-asyl@mail.ru;

Тунгатарова С.А. - х.ғ. докторы, профессор, Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, тотығу катализі зертханасының меңгерушісі, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің профессоры, Алматы, Қазақстан, e-mail: tungatarova58@mail.ru;

Xanthopoulou G.G. - х.ғ. докторы, профессор, наноғылым және нанотехнология институты, Демокритос ҒЗҰО, Афины, Грекия, e-mail: g.xanthopoulou@inn.demokritos.gr;

Байжұманова Т.С. - х.ғ. кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, тотығу катализі зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, e-mail: baizhuma@mail.ru;

Жұмабек М. - PhD, Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, тотығу катализі зертханасының аға ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан, e-mail: manapkhan_86@mail.ru.

Information about authors

Assylbekov Y.B. - PhD student of Al-Farabi Kazakh National University, research associate of Laboratory of Oxidative Catalysis, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: yer-asyl@mail.ru;

Tungatarova S.A. - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Oxidative Catalysis, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Professor of Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tungatarova58@mail.ru;

Xanthopoulou G.G. - Doctor of Chemical Sciences, Professor, Institute of Nanoscience and Nanotechnology, NCSR Demokritos, Athens, Greece, g.xanthopoulou@inn.demokritos.gr;

Baizhumanova T.S. - Leading Researcher, Candidate of Chemical Sciences, Laboratory of Oxidative Catalysis, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: baizhuma@mail.ru;

Zhumabek M. - PhD Doctoral student, Satbayev University; Researcher of the Laboratory of Oxidative Catalysis, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, e-mail: manapkhan_86@mail.ru.

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ ЭФФЕКТИВНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ СТЕБЛЕЙ ХЛОПЧАТНИКА ПРОИЗРОСТАЕМОЙ В ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

¹Қ.А. Куртибай✉, ¹Ә. Қаппасұлы, ¹А.Ә. Үсенова, ²Е.Е. Жатқанбаев, ³Ж.К. Жатқанбаева,
¹Н.Б. Молдагулова, ¹Ә.Б. Молдагулова

¹ ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан,

² Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан,

³ Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан

✉ Корреспондент-автор: kurtibayqb@gmail.com

В Казахстане тема переработки хлопковых отходов очень актуальна в современных условиях. Учитывая, что Казахстан является одним из крупнейших производителей хлопка в мире, на повестке дня стоит вопрос утилизации большого количества стеблей хлопчатника и других отходов, образующихся после сбора хлопка. Неэффективная утилизация этих отходов приводит к серьезным экологическим проблемам, таким как загрязнение почвы и воды, а также выбросы парниковых газов при их сжигании. Кроме того, отсутствие эффективных методов переработки лишает страну возможности использовать хлопковые отходы для производства ценной продукции, такой как целлюлоза, ограничивая экономический потенциал региона. Таким образом, разработка и внедрение новых эффективных технологий переработки хлопковых отходов в Казахстане имеет не только экологически и экономически актуальное, но и стратегическое значение для устойчивого развития страны. Переработка стеблей хлопчатника и других отходов в лигноцеллюлозу и целлюлозу может стать источником новых экономических возможностей как для мира, так и для Казахстана, где интенсивно выращивается хлопок. Переработка стеблей хлопка и других хлопковых остатков помогает сократить количество отходов, которые обычно выбрасываются в мусор или массово сжигаются после сбора хлопка. Решением этих проблем может стать переработка этих отходов и получение из них ценной продукции во избежание глобального потепления и других негативных последствий, угрожающих окружающей среде.

Ключевые слова: стебель хлопчатника, целлюлоза, лигноцеллюлоза, щелочная варка, делигнификация, число Каппа.

ТУРКІСТАН ОБЛЫСЫНДА ӨСІРІЛЕТІН МАҚТА САБАҒЫНАН ЦЕЛЛЮЛОЗАНЫ ТИІМДІ АЛУ ЖОЛДАРЫН ЗЕРТТЕУ

¹Қ.А. Куртибай✉, ¹Ә. Қаппасұлы, ¹А.Ә. Үсенова, ²Е.Е. Жатқанбаев, ³Ж.К. Жатқанбаева,
¹Н.Б. Молдагулова, ¹Ә.Б. Молдагулова

«Экологиялық және өнеркәсіптік биотехнологияның ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС, Астана, Қазақстан,

² Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

³ Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан,

e-mail: kurtibayqb@gmail.com

Қазақстанда мақта қалдықтарын қайта өңдеу тақырыбы қазіргі контексте өте өзекті. Қазақстан әлемдегі ең ірі мақта өндірушілердің бірі болып табылатындығын ескере отырып, мақта жинағаннан

кейін пайда болатын мақта сабақтарының және басқа да қалдықтардың үлкен көлемін утилизациялау мәселесі күн тәртібінде тұр. Бұл қалдықтарды тиімсіз утилизациялау топырақ пен судың ластануы, сондай-ақ оларды жағу кезінде парниктік газдар шығарындылары сияқты маңызды экологиялық мәселелерге әкеледі. Сонымен қатар, өңдеудің тиімді әдістерінің болмауы елді мақта қалдықтарын целлюлоза сияқты құнды өнімдерді өндіру үшін пайдалану мүмкіндігінен айырады, бұл аймақтың экономикалық әлеуетін шектейді. Осылайша, Қазақстанда мақта қалдықтарын қайта өңдеудің жаңа технологияларын әзірлеу және енгізу экологиялық және экономикалық тұрғыдан өзекті болып қана қоймай, елдің тұрақты дамуы үшін стратегиялық маңызы бар. Мақта сабақтарын және басқа да қалдықтарды лигноцеллюлоза мен целлюлозаға өңдеу ғалам үшін де, мақта қарқынды өсірілетін аймақ үшін де жаңа экономикалық мүмкіндіктердің көзі болуы мүмкін. Мақта сабақтарын және оның басқа да қалдықтарын қайта өңдеу әдетте мақта жиналғаннан кейін қоқыс ретінде тасталатын немесе жаппай өртелетін қалдықтарды азайтуға көмектеседі. Бұл проблемалардың шешімі жаһандық жылынды және қоршаған ортаға қауіп төндіретін басқа да жағымсыз әсерлерді болдырмау үшін осы қалдықтарды қайта өңдеу және олардан құнды өнімдер алу болуы мүмкін.

Түйін сөздер: мақта сабағы, целлюлоза, лигноцеллюлоза, сілтілік қайнату, делигнификация, Каппа саны.

STUDY OF METHODS FOR EFFICIENT PRODUCTION OF CELLULOSE FROM COTTON STALKS GROWN IN TURKESTAN REGION

¹**К.А. Kurtibay**✉, ¹**А. Kappassuly**, ¹**А.А. Ussenova**, ²**Ye.Ye. Zhatkanbayev**,
³**Zh.K. Zhatkanbayeva**, ¹**N.B. Moldagulova**, ¹**E.B. Moldagulova**

¹ «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan,

² Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,

³ L.N. Gumilyev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

e-mail: kurtibayqb@gmail.com

In Kazakhstan, the topic of cotton waste recycling is very relevant in modern conditions. Given that Kazakhstan is one of the largest cotton producers in the world, the issue of utilization of a large amount of cotton stalks and other waste generated after cotton harvesting is on the agenda. Inefficient utilization of these wastes leads to serious environmental problems, such as soil and water pollution, as well as greenhouse gas emissions from their incineration. In addition, the lack of efficient processing methods deprives the country of the opportunity to utilize cotton waste to produce valuable products such as pulp, limiting the economic potential of the region. Thus, the development and implementation of new efficient technologies for processing cotton waste in Kazakhstan is not only environmentally and economically relevant, but also of strategic importance for the sustainable development of the country. Processing of cotton stalks and other wastes into lignocellulose and cellulose can become a source of new economic opportunities both for the world and for Kazakhstan, where cotton is intensively grown. Recycling cotton stalks and other cotton residues helps to reduce the amount of waste that is usually disposed of in garbage or mass burned after cotton harvesting. The solution to these problems could be to recycle these wastes and get valuable products out of them to avoid global warming and other negative effects that threaten the environment.

Key words: cotton stalk, cellulose, lignocellulose, alkaline pulping, delignification, Kappa number.

Введение. Растущая проблема нехватки энергии в мире и быстрое истощение запасов ископаемого топлива, а также такие экологические проблемы, как глобальное потепление, кислотные дожди и городской смог, послужили толчком к активным исследованиям в области альтернативных и возобновляемых источников энергии [1]. Все большее внимание уделяется сохранению экологических систем. Большинство синтетических полимеров сегодня производятся из нефтехимических продуктов и редко подвергаются биологическому разложению. Постоянное использование этих полимеров значительно загрязняет окружающую среду и наносит вред дикой природе, когда они выбрасываются в природу [2]. Например, неразлагающиеся пластиковые пакеты негативно влияют на морских обитателей. Широко признано, что использование долговечных полимеров в изделиях с коротким сроком службы, например, в машиностроении, упаковке, общественном питании, хирургии и гигиене, нецелесообразно. Кроме того, сжигание пластиковых отходов создает экологические проблемы из-за выделения токсичных веществ, таких как диоксин. Биоразлагаемые полимеры уже давно рассматриваются как потенциальное решение, поскольку они могут помочь преодолеть ограниченность нефтехимических ресурсов. Использование экологически чистых сельскохозяйственных ресурсов вместо ископаемого топлива и газа также поможет сократить выбросы CO₂ [3].

При выращивании хлопчатника образуются значительные растительные остатки, вес которых зачастую в три-пять раз превышает вес производимого хлопчатника [4]. Эти остатки, состоящие в основном из стеблей, дают примерно 2,5-3,5 тонны на акр возделываемого хлопчатника, что зависит от используемой уборочной техники [5]. В настоящее время распространена практика сжигания стеблей хлопчатника на поле из-за опасений передачи болезней будущим посевам хлопчатника. Однако в стеблях содержится большое количество целлюлозы, что побуждает исследовать возможность их использования в различных областях, таких как производство бумаги, промышленного топлива, композитных материалов и

регенерации целлюлозы для производства вискозы [4,6].

Стебель хлопчатника является остаточным продуктом хлопководства и классифицируется как возобновляемая лигноцеллюлозная биомасса. Благодаря содержанию целлюлозы от 32 до 46 % и гемицеллюлозы от 20 до 28 %, стебель хлопчатника является перспективным сырьем для переработки целлюлозы [7].

В последнее время для переработки лигноцеллюлозной биомассы все большую популярность приобретают методы предварительной обработки на основе кислот и щелочей, каждый из которых использует различные механизмы разрушения клеточных стенок. Кислотная предварительная обработка обычно разрушает компоненты гемицеллюлозы и делает целлюлозу более податливой для ферментативного расщепления [8]. Обычно для этого процесса используются разбавленные кислоты, такие как серная, азотная и соляная, что объясняется их экономичностью и экологическими преимуществами [8,9]. Предварительная обработка щелочью разрушает эфирные связи, соединяющие лигнин и ксилан, удаляет лигнин, вызывает набухание целлюлозы и частично декристаллизует целлюлозу [10]. Лигноцеллюлоза, как самый распространенный и воспроизводимый ресурс, обнаружила потенциал как сырье для производства топлива и химических веществ с добавленной стоимостью [11], [12]. Ее состав в основном включает три основных структурных компонента: целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин. Обычно сухая лигноцеллюлоза содержит примерно 40-50% целлюлозы, 20-30% гемицеллюлозы и 20-35% лигнина [13]. Очевидно, что целлюлоза является наиболее распространенным компонентом лигноцеллюлозы и состоит из молекул D-глюкозы, соединенных между собой 1,4-β-гликозидными связями [13]. Все эти усилия по повышению ценности стеблей хлопчатника становятся все более необходимыми в борьбе с загрязнением окружающей среды и глобальным дефицитом энергии.

В Казахстане большое значение имеют исследования по переработке отходов, такие как стебли хлопчатника. Разработка эффективных ме-

тодов утилизации этих отходов не только способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду и повышению экологической устойчивости региона, но и открывает новые возможности для экономического развития.

Методы и материалы. В качестве объекта исследования в данной работе были выбраны отходы хлопчатника, выращиваемого в Туркестанском регионе Республики Казахстан, а именно стебли хлопчатника. Объект исследования был собран с поля, где выращивался хлопчатник, очищен от листьев, хлопчатника, шелухи и корней

стеблей хлопчатника, и первоначальный процесс сушки проводился в тени при атмосферной температуре в течение 7-10 дней. Сухие стебли общим весом 10 кг были собраны для переработки стеблей хлопчатника для исследовательской работы. Каждый стебель хлопчатника был обрезан так, чтобы его длина составляла 7-10 см (Рисунок 1 а). Стебли хлопчатника, предварительно собранные и высушенные в тени в течение недели, измельчаются до мелких частиц. Измельченную пробу сушат до постоянной массы в конвекционной печи при температуре 105°C (Рисунок 1 б).



Рис. 1 - а- стебли хлопчатника, б-измельченный образец из стеблей хлопчатника

1. Получение целлюлозы интегрированным методом экстракции и делигнификации

Порошок стеблей хлопчатника обрабатывали хлороформом (2:1 по объему) для удаления масел и восков путем экстракции в аппарате Сокслета в течение 6 часов, а затем сушили в конвекционной печи при температуре 110°C в течение 8 часов до постоянной массы. Высушенный порошок стеблей хлопчатника обрабатывают 2 н HCl при температуре 40-60°C в течение 3-4 часов. Затем реакцию смесь фильтруют и несколько раз промывают дистиллированной водой до нейтральной среды. Наконец, промытый остаток в фильтре делигнифицируют 20% водным раствором гидроксида натрия при температуре 120°C (1,5 бар) в автоклаве в течение 2 часов [14].

2. Получение целлюлозы путем щелочной варки

Для определения влияния концентрации щелочи на выход целлюлозы использовали 10%, 15% и 20% растворы гидроксида натрия. Кроме того, в целях достижения высокой степени делигнификации и обеспечения высокого выхода целлюлозы процесс проводился с помощью автоклав-стерилизатора (Казахстан) при температуре 120°C и при давлении 1,5 бар. Для определения зависимости выхода целлюлозы от времени проводили процесс щелочной варки стеблей хлопчатника (5:1) в течение 2-4 часов. После завершения процесса раствор фильтровали и промывали дистиллированной водой до тех пор, пока значение pH остатка не показало нейтральную среду. Позже целлюлозу, полученную путем щелочной варки из стебля хлопчатника, сушили в конвекционной печи при температуре 105°C до постоянной массы, высушенный образец хранили в эксикаторе с прокаленным хлоридом каль-

ция для последующих экспериментов.

3. Процесс обесцвечивания

Процесс обесцвечивания полученной сырой целлюлозы проводился путем смешивания с 3% раствором H_2O_2 в соотношении 2:1 в течение 3 часов на водяной бане при температуре $80^\circ C$.

4. Определение выхода целлюлозы

Выход целлюлозы, полученной из стеблей хлопчатника двумя методами, определяли по следующему уравнению:

$$\omega, \% = \frac{m_2}{m_1} * 100 \quad (1)$$

где,

$\omega, \%$ - выход целлюлозы;

m_1 - исходная масса образца;

m_2 - масса полученной целлюлозы.

5. Определение числа Каппа

Число Каппа является показателем степени делигнификации целлюлозы или ее обесцвечивания. Определение числа Каппа целлюлозы проводили методом титрования по международному стандарту ISO 302:2015 «Целлюлоза. Определение числа Каппа». Настоящий международный стандарт распространяется на все виды химической и полухимической целлюлозы с числом Каппа в диапазоне от 1 до 100.

6. Исследование методом ИК-Фурье спектроскопии

Изоляты целлюлозы, полученные в ходе исследования, были проанализированы с использованием метода ослабленного полного отражения (ATR) для определения химического состава с помощью ИК-Фурье-спектрометра IR Spirit (Shimadzu, Япония). Спектры ИК-Фурье регистрировались в диапазоне длин волн $400-4000 \text{ см}^{-1}$ со спектральным разрешением 4 см^{-1} . Образцы были проанализированы на ИК-Фурье-спектрометре по таблетированному методу с бромидом калия. Соотношение образца к КВг составляет 1:10.

Результаты и обсуждения.

1. Получение целлюлозы интегрированным ме-

тодом экстракции и делигнификации

Являясь наиболее распространенным и возобновляемым источником, лигноцеллюлоза является потенциальным сырьем для производства дорогостоящего топлива и химикатов. В основном он состоит из трех основных структурных компонентов: целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Обычно сухая лигноцеллюлоза состоит примерно из 40-50% целлюлозы, 20-30% гемицеллюлозы и 20-35% лигнина. Целлюлоза, очевидно, является наиболее распространенным компонентом лигноцеллюлозы, которая состоит из единиц D-глюкозы, связанных 1,4- β -гликозидными связями. На практике целлюлозу можно превратить путем пиролиза в полезные химические вещества, такие как маннит, фурфурол и левоглюкозенол, или топливо, включая целлюлозный этанол и биотопливо.

В процессе переработки биомассы деградация целлюлозы сопровождается деградацией гемицеллюлозы, лигнина, масел и восков, что усложняет процесс. Поэтому необходимо выделить из лигноцеллюлозной биомассы основной компонент - целлюлозу и изучить продукты ее разложения. На сегодняшний день сообщалось о различных методах разделения, таких как паровой взрыв, микроволновая экстракция, обработка неорганическими кислотами, обработка щелочью и методы ионной жидкости. Удаление масел и восков осуществляется с помощью органических растворителей.

В этом исследовании целлюлозу экстрагировали из стеблей хлопчатника с использованием соляной кислоты и гидроксида натрия для удаления гемицеллюлозы и лигнина, что является самым простым и экономичным методом [14].

Образец порошка стеблей хлопчатника массой 100 г экстрагировали хлороформом (2:1 по объему) в течение 6 часов в аппарате Сокслета для удаления масел и воска (рис. 9), а затем сушили в конвекционной печи при $110^\circ C$ в течение 8 часов. до постоянной массы. Масса высушенного образца после экстракции составила 96,4 г.

Для удаления гемицеллюлозы и лигнина безжирный порошок высушенных стеблей хлоп-

чатника обрабатывают 2 М HCl при температуре 40-60°C в течение 3-4 часов. Реакционную смесь затем фильтруют и остаток на фильтре несколько раз промывают дистиллированной водой до нейтральной реакции. Наконец, промытый выше остаток делигнифицируют 20% водным раствором гидроксида натрия в автоклаве при 120°C (1,5 бар) в течение 2 часов. На рисунке 2 показана сырая целлюлоза из обесцвеченных стеблей хлопчатника после обработки кислотой и щело-

чью.

Выход целлюлозы из делигнифицированных стеблей хлопчатника после кислотно-щелочной обработки составил 46,8%. Выход продукта рассчитывали по уравнению (1).

Полученную целлюлозу охарактеризовали методом ИК-Фурье-спектроскопии. С целью изучения чистоты полученной целлюлозы исследовали так же ИК спектры исходного образца (Рисунок 3-4).



Рис. 2 - Обесцвеченная целлюлоза из стеблей хлопчатника

Как видно из ИК-спектров на спектрограммах, полученные спектры целлюлозы были аналогичны спектрам стеблей хлопчатника, за исключением полос при 1691 см⁻¹ и 1550 см⁻¹, которые были отнесены к поглощению карбонильных растяжении эфиров или карбоксильных групп в гемицеллюлозе и колебания ароматического скелета в лигнине. Сильное поглощение при 3392 см⁻¹ и 2905 см⁻¹ было приписано длинным колебаниям O-H и C-H в целлюлозе соответственно. Погло-

щение около полосы 1635 см⁻¹ указывает на изгибный режим поглощенной воды, поскольку чистая целлюлоза обладает малыми гигроскопическими свойствами. Поглощение при 1040 см⁻¹ отнесено к валентным колебаниям эфирных связей C-O-C. Небольшая резкая полоса при 898 см⁻¹ характерна для поглощения β-гликозидных связей между моносахаридами целлюлозы, указывая на то, что глюкоза, основная цепь целлюлозы, связана с β-гликозидной связью.

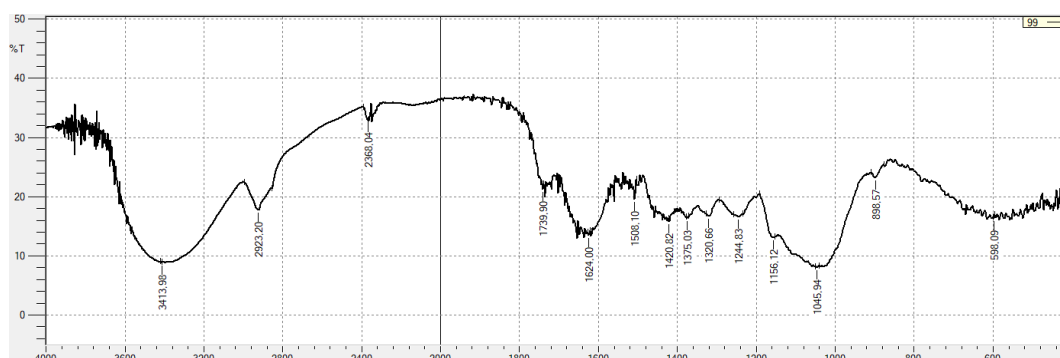


Рис. 3 - ИК спектрограмма исходного образца

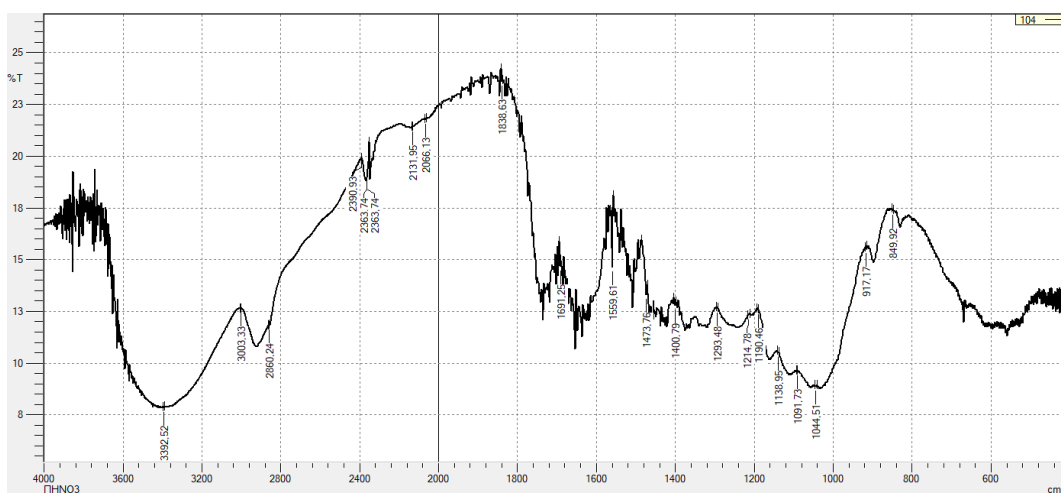


Рис. 4 - ИК спектрограмма целлюлозы полученной по интегрированному методу экстракции и делигнификации

Таким образом, предварительная экстракция органическим растворителем предотвратила удаление масел и восков, которые могут помешать дальнейшей работе в нашем исследовании. А обработка кислотными и щелочными растворами позволила избавиться от лигнина и гемицеллюлозы из стеблей хлопчатника, которые в основном лигноцеллюлозные. Стоит отметить, что щелочная варка по нашему методу осуществляется в автоклаве при давлении 1,5 бар. Это, наряду с постепенным удалением других мешающих веществ, способствовало увеличению выхода целлюлозы. В ходе ИК-Фурье-спектроскопического анализа было установлено, что полученная целлюлоза связана β -гликозидными связями, а наличие полос, характерных для гидроксильных групп, также характеризовало наличие гигроскопических свойств чистой целлюлозы.

2. Получение целлюлозы путем щелочной варки

Щелочная варка, используемое в качестве предварительной обработки, представляет собой процесс, при котором волокна подвергаются воздействию гидроксида натрия или других щелочных реагентов при высоких температурах. Этот процесс приводит к разрыву гликозидных связей в макромолекулах целлюлозы, что уменьшает их кристаллическую структуру и делает материал пригодным для дальнейших процессов переработки. Щелочная варка также деполимеризу-

ет и растворяет лигнин, что облегчает его удаление из волокон и улучшает доступность целлюлозы для ферментативного гидролиза. Кроме того, этот процесс может привести к отделению отдельных волокон друг от друга, что увеличивает площадь поверхности и способствует дальнейшему разложению целлюлозы ферментами.

Таким образом, щелочная варка не только изменяет цвет и химический состав материала, но и существенно улучшает его структурные свойства, делая доступным для последующих процессов превращения в ценные биохимические продукты.

В исследовании использовались 10%, 15% и 20% растворы гидроксида натрия с целью определения зависимости выхода целлюлозы от концентрации щелочи и времени в процессе щелочного кипения. Кроме того, для достижения высокой степени делигнификации и обеспечения высокого выхода целлюлозы процесс проводили с помощью автоклава-стерилизатора (Казахстан) при температуре 120°C и давлении 1,5 бар. Для определения зависимости выхода целлюлозы от времени проводили процесс щелочной варки стеблей хлопчатника (5:1) в течение 2-4 часов. После завершения процесса раствор фильтровали и остаток промывали дистиллированной водой до тех пор, пока значение pH не указывало на нейтральную среду. В дальнейшем целлюлозу, полученную щелочной варкой из стеблей хлопчатни-

ка, сушили в конвекционной печи при температуре 105°C до постоянной массы, а образец хранили в эксикаторе с прокаленным хлористым кальцием для дальнейших экспериментов.

В качестве образца для эксперимента использовали 100 г измельченного и высушенного по-

рошка стеблей хлопчатника, смешанного с раствором щелочей различной концентрации в соотношении 5:1, и эксперимент проводили по изложенной выше методике. Данные, полученные в результате эксперимента, представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Выход целлюлозы при щелочной варке

№ п/п	Концентрация щелочи, %	Температура, С и давление варки, бар	Время, ч.	Выход целлюлозы, %
1	10	1200С / 1,5 бар	2	31,8
2	15			34,2
3	20			35,7
4	10		3	32,8
5	15			35,4
6	20			37,1
7	10		4	33,2
8	15			36,5
9	20			38,9

Примечание: выход целлюлозы оценивали после этапа обесцвечивания.

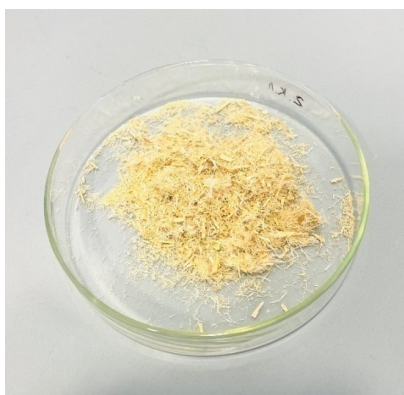


Рис. 5 - Обесцвеченная целлюлоза

Анализируя результаты опыта, приведенные в таблице, можно заметить, что выход целлюлозы увеличивается с увеличением концентрации щелочи и времени варки. Поэтому степень делигнификации также выше.

По данным опыта максимальный выход целлюлозы составил 38,9%. Эта величина была определена при экстракции стеблей хлопчатника 20% раствором гидроксида натрия под высоким давлением (1,5 бар) и в течение длительного време-

ни (4 часа) при температуре 120°C. А минимальный выход целлюлозы составляет 31,8%, что достигается при следующих условиях кипения: концентрация активной щелочи 10%, температура 120°C, время 2 часа.

3. Процесс обесцвечивания целлюлозы

Полученную сырую целлюлозу после экспериментов смешивали с 3% раствором H_2O_2 в соотношении 2:1 и проводили процесс обесцвечивания на водяной бане при температуре 80°C в течение 3 часов.

После дальнейшего обесцвечивания сырой мякоти стеблей хлопчатника раствором перекиси водорода пробу тщательно фильтруют через фильтровальную бумагу и промывают водой до нейтральной реакции. После тщательной промывки образца его сушат в конвекционной печи при температуре 105°C до постоянной массы и хранят в эксикаторе для дальнейших исследований.

4. Исследование целлюлозы методом ИК-Фурье спектроскопии

Методом ИК-Фурье спектроскопии определяли структуру и чистоту делигнифицированной целлюлозы, полученной из стеблей хлопчатника методом щелочной варки. Образец смешивали с ультрачистым бромидом калия в соотношении 10:1 таблеточным методом и регистрировали ИК-

спектры с помощью ИК-Фурье-спектрометра IR Spirit (Shimadzu, Япония). Полученную спектрограмму (рисунок 6) анализировали путем сравнения ее с полосами (пиками) спектрограммы исходного образца (рисунок 3) с использованием специальных атласов и различных литератур.

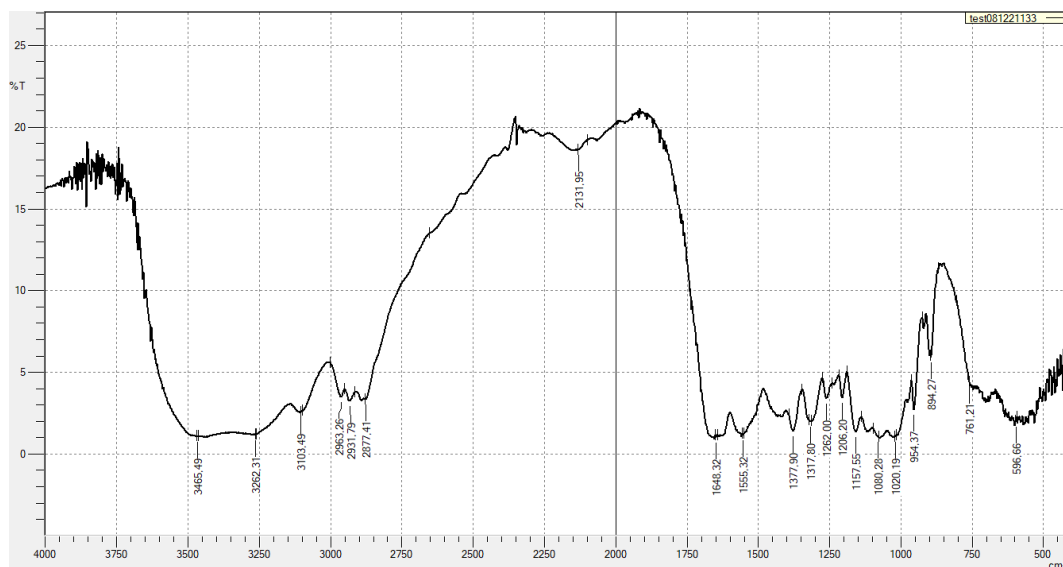


Рис. 6 - Спектрограмма целлюлозы, полученной путем щелочной варки

До щелочной варки в ИК-спектрах стеблей хлопчатника наблюдаются характерные пики, соответствующие функциональным группам, присутствующим в целлюлозе, гемицеллюлозе, лигнине и других компонентах стебля. На спектрограмме интенсивные полосы в области 3200-3600 см^{-1} соответствуют длинным колебаниям О-Н - гидроксильных групп целлюлозы. А полосы между 2900-3000 см^{-1} зафиксированы как обусловленные длинными колебаниями С-Н. Полосы 1640-1660 см^{-1} демонстрируют длинные колебания С=О, характерные для целлюлозы. Соответствующие валентные колебания, указывающие на эфирную связь С-О-С, с интенсивными полосами в районе около 1050-1150 см^{-1} . На наличие гемицеллюлозы указывают полосы 1730-1740 см^{-1} , соответствующие ацетильным и эфирным группам, и полосы 1200-1300 см^{-1} , относящиеся к валентным колебаниям С-О в гемицеллюлозе. Пики в диапазоне 1500-1700 см^{-1} представляют собой ароматические скелетные колебания, характерные для лигнина, а интенсивная

полоса около 1510 см^{-1} соответствует валентным колебаниям С=C. Пики в диапазоне 2800-2900 см^{-1} признаны связанными с липидами и восками.

В свою очередь, после щелочной варки ИК-спектры претерпевают изменения за счет удаления гемицеллюлозы, лигнина и других компонентов. Пики растяжения О-Н остаются, но могут расширяться в области 3200-3600 см^{-1} из-за увеличения доступности гидроксильных групп после удаления гемицеллюлозы и лигнина. Как уже говорилось выше, чистая молекула целлюлозы обладает способностью поглощать воду. Длинные пики С-Н также остаются относительно неизменными. Полоса валентных колебаний С=О в области полос 1560-1648 см^{-1} более выражена за счет подавления других интерферирующих полос. Полосы, относящиеся к гемицеллюлозе, в частности пики около 1730-1740 см^{-1} , уменьшаются или полностью исчезают, как и валентные колебания С=О, связанные с гемицеллюлозой. Пики в обла-

сти 1500-1700 см⁻¹, связанные с лигнином, особенно колебания ароматического скелета, уменьшаются или исчезают, что указывает на очистку от лигнина. Пик при 1510 см⁻¹ менее заметен или вообще исчезает. Поскольку образец предварительно не очищался специальным образом от масел и восков, на нем могут наблюдаться следы их характерных разводов.

В целом ИК-спектры стеблей хлопчатника до и после щелочной варки демонстрируют существенные различия с уменьшением пиков, связанных с нецеллюлозными компонентами в постэкстракционном спектре, что указывает на содер-

жание чистой целлюлозы.

5. Определение степени делигнификации целлюлозы. Определение числа Каппа

Число Каппа является показателем степени делигнификации целлюлозы или обесцвечиваемости целлюлозы. Определение числа Каппа целлюлозы проводили методом титрования по международному стандарту ISO 302:2015 «Целлюлоза. Определение числа Каппа». Настоящий международный стандарт распространяется на все виды химической и полухимической целлюлозы с числом Каппа в диапазоне от 1 до 100.

Таблица 2 - Число Каппа и остаточное содержание лигнина в целлюлозе

№	Метод получения целлюлозы	Концентрация щелочи, %	Время варки, ч.	Выход целлюлозы, %	Число Каппа	Лигнин, %
1	Получение целлюлозы интегрированным методом экстракции и делигнификации	20	2	46,8	25,4	3,38
2	Получение целлюлозы путем щелочной варки	10	2	31,8	42,3	5,58
3		15		34,2	31,5	4,16
4		20		35,7	29,8	3,97
5		10	3	32,8	43	5,73
6		15		35,4	29,5	3,93
7		20		37,1	27,2	3,63
8		10	4	33,2	35,6	4,74
9		15		36,5	30,1	4,01
10		20		38,9	28,7	3,83

Таким образом, как видно из таблицы 4, хотя выход целлюлозы в опыте №5 был низким, число Каппа показало наибольшее значение - 43,0. Число Каппа показало наименьшее значение в опыте №1 с высоким выходом целлюлозы. Это показывает обратную зависимость между выходом и числом Каппа: более высокий выход обычно указывает на меньшее количество лигнина в пульпе, что способствует более эффективному выделению целлюлозы. Более высокое значение числа Каппа, в свою очередь, указывает на повышенное содержание лигнина в целлюлозе, что требует большего количества перекиси водорода для эффективного отбеливания. Например, в эксперименте №1 при максимальном выходе целлюло-

зы 46,8% число Каппа составляет 25,4 при 120°C, времени кипения 2 часа и давлении 1,5 бар. Такие параметры являются благоприятными, поскольку процесс отбеливания целлюлозы проходит успешно.

6. Материальный баланс и пути утилизации, участвующих реагентов в технологическом процессе

В рамках технологического процесса переработки стеблей хлопчатника в целлюлозу особое внимание уделяется не только эффективности получаемого продукта, но и рациональному использованию реагентов, а также их утилизации. В таблице ниже представлены основные этапы про-

цесса, включающие входящие материалы, полу- тов, участвующих в технологическом переделе. чаемые продукты и методы утилизации реаген-

Таблица 3 - Материальный баланс и пути утилизации, участвующих реагентов в технологическом процессе получения 38,9 г целлюлозы

Этап процесса	Входящие материалы	Масса	Выходящие продукты	Масса	Утилизация реагентов
Экстракция масел и восков	Стебли хлопчатника	100 г	Стебли после экстракции	96,4 г	Хлороформ регенерируется и повторно используется путем ректификации или дистилляции.
	Хлороформ	200 мл	Масла и воски	3,6 г	Остатки масел и восков собираются и утилизируются согласно требованиям охраны окружающей среды.
Кислотная обработка (HCl)	Стебли после экстракции	96,4 г	Очищенные стебли	90 г	Отработанная кислота нейтрализуется щелочью (NaOH), после чего образовавшиеся растворы могут быть переработаны или безопасно утилизированы в соответствии с экологическими нормами.
	2 н HCl	200 г	Отработанная кислота	200 г	
Щелочная варка (NaOH)	Очищенные стебли	90 г	Целлюлоза	38,9 г	Отработанный раствор NaOH нейтрализуется кислотой (HCl). Образовавшиеся соли (NaCl) отделяются через фильтрацию или испарение, а вода очищается и возвращается в процесс.
	20% раствор NaOH (100 г NaOH + 400 г воды)	500 г	Лигнин, примеси, отходы	51,1 г	
Обесцвечивание (H ₂ O ₂)	Целлюлоза	38,9 г	Обесцвеченная целлюлоза	38,9 г	Отработанный раствор H ₂ O ₂ разлагается до воды и кислорода, минимизируя экологическое воздействие. Вода может быть повторно использована в технологическом процессе.

	3% H ₂ O ₂	77,8 г	Отработанный раствор H ₂ O ₂	77,8 г	
--	----------------------------------	--------	--	--------	--

Утилизация и экологические меры в технологическом процессе переработки стеблей хлопчатника в целлюлозу направлены на минимизацию воздействия на окружающую среду и обеспечение устойчивости производства. После экстракции масел и восков хлороформ подлежит регенерации с использованием процесса дистилляции, что позволяет повторно применять растворитель в последующих циклах. Остатки масел и восков утилизируются в соответствии с экологическими стандартами. Соляная кислота (HCl), использованная для обработки стеблей хлопчатника, нейтрализуется щелочью (NaOH), а полученные соли, такие как NaCl, могут быть использованы повторно или безопасно утилизированы. Растворы щелочи после варки также нейтрализуются кислотой, а образовавшиеся отходы, включая соли и воду, проходят очистку и, по возможности, возвращаются в производственный цикл. Перекись водорода (H₂O₂), используемая в процессе обесцвечивания, разлагается на воду и кислород, что делает процесс безопасным для окружающей среды. Вода, полученная в результате разложения, может быть использована повторно.

Эти меры направлены на минимизацию воздействия на окружающую среду и обеспечивают устойчивость технологического процесса переработки стеблей хлопчатника в целлюлозу.

7. Материальный баланс для получения 1 кг целлюлозы из стеблей хлопчатника

Материальный баланс для получения 1 кг целлюлозы из стеблей хлопчатника предоставляет детализированное представление о расходе и выходе материалов на каждом этапе процесса. В ходе расчета были рассмотрены все основные входящие и выходящие материалы, включая стебли хлопчатника, гидроксид натрия, соляную кислоту, хлороформ и перекись водорода.

Расчет для получения 1 кг целлюлозы:

1. Стебли хлопчатника:

Выход целлюлозы составляет 38,9% от массы исходного сырья.

Чтобы получить 1 кг целлюлозы, необходимо:

$$\frac{1}{0,389} \approx 2,57$$

2. Гидроксид натрия (NaOH):

Для обработки 2,57 кг стеблей в 20% растворе NaOH потребуется:

Масса раствора NaOH:

$$2,57 \times 5 = 12,85$$

В растворе NaOH содержится 20% NaOH, следовательно:

$$NaOH = 12,85 \times 0,2 = 2,57$$

Оставшаяся масса - это вода:

$$= 12,85 - 2,57 = 10,28$$

3. Соляная кислота (HCl):

Для обработки 2,57 кг стеблей требуется 2 н HCl:

≈ 5,14 кг кислоты

4. Хлороформ:

Для экстракции масел и восков из 2,57 кг стеблей потребуется:

≈ 5,14 л хлороформа

5. Перекись водорода (H₂O₂):

Для обесцвечивания 1 кг целлюлозы необходимо:

2 кг (3% раствора H₂O₂).

Таблица 4 - Сводная таблица материального баланса

Этап процесса	Входящие материалы	Масса	Выходящие продукты	Масса
Экстракция масел и восков	Стебли хлопчатника	2,57 кг	Стебли после экстракции	2,48 кг
	Хлороформ	5,14 л	Масла и воски	0,09 кг
Кислотная обработка (HCl)	Стебли после экстракции	2,48 кг	Очищенные стебли	2,31 кг
	2 н HCl	5,14 кг	Отработанная кислота	5,14 кг
Щелочная варка (NaOH)	Очищенные стебли	2,31 кг	Целлюлоза	1 кг
	20% раствор NaOH (в составе 12,85 кг раствора)	12,85 кг	Лигнин, примеси, отходы	1,31 кг
Обесцвечивание (H ₂ O ₂)	Целлюлоза	1 кг	Обесцвеченная целлюлоза	1 кг
	3% H ₂ O ₂	2 кг	Отработанный раствор H ₂ O ₂	2 кг

Таблица 5 - Итоговый материальный баланс

Входящие материалы	Масса (кг)
Стебли хлопчатника	2,57
NaOH (чистый)	2,57
HCl (2 н)	5,14
Хлороформ	5,14
Перекись водорода (3%)	2

Материальный баланс для получения 1 кг целлюлозы из стеблей хлопчатника показывает, что для производства 1 кг целлюлозы необходимо 2,57 кг стеблей хлопчатника. Процесс включает использование 12,85 кг 20% раствора NaOH, 5,14 кг соляной кислоты, 5,14 л хлороформа и 2 кг 3% раствора перекиси водорода. В результате обработки стеблей после экстракции образуются 0,09 кг масел и восков, а также 1 кг целлюлозы. Отходы, включая лигнин и примеси, составляют

1,31 кг. Важным аспектом является правильное управление отходами и отработанными растворами для минимизации их воздействия на окружающую среду.

Таким образом, материальный баланс показывает, что процесс получения целлюлозы из стеблей хлопчатника эффективен с точки зрения конверсии исходного сырья в конечный продукт. Важно обеспечить правильное управление отходами и отработанными растворами для минимизации

зации негативного воздействия на окружающую среду и соблюдения экологических стандартов.

Таблица 6 - Выходящие продукты и отходы

Выходящие продукты и отходы	Масса (кг)	Примечания
Целлюлоза	1	Финальный продукт
Лигнин и примеси	1,31	Образуется после варки
Масла и воски	0,09	Образуется после экстракции
Отработанная кислота (HCl)	5,14	Образуется после кислотной обработки
Отработанный раствор H ₂ O ₂	2	Образуется после обесцвечивания

Таблица 7 - Суммарная масса отходов

Отходы	Масса (кг)
Лигнин и примеси	1,31
Масла и воски	0,09
Отработанная кислота (HCl)	5,14
Отработанный раствор H ₂ O ₂	2
Итого	8,54

Выводы. Казахстан является одним из крупнейших производителей хлопчатника в мире, и большая часть его производства сосредоточена в южных регионах страны. В частности, в Туркестанской области. Это создает значительный потенциал использования стеблей хлопчатника для переработки и производства таких ценных продуктов, как лигноцеллюлоза и целлюлоза. Являясь наиболее распространенным и возобновляемым источником, лигноцеллюлоза является потенциальным сырьем для производства дорогостоящего топлива и химикатов. Проведен ряд исследований и определен производственный потенциал с целью переработки хлопковых отходов, имеющих высокое содержание целлюлозы, и получения из них ценного продукта. Кроме того, при производстве чистой целлюлозы из стеблей хлопчатника в ходе эксперимента был апробирован ряд методов и инновационных идей, позволяющих добиться ее высокого выхода.

Интегрирование метода предварительного обезжиривания органическим растворителем к методу щелочной варки, который является классическим методом извлечения целлюлозы из стеблей хлопчатника, было признано инноваци-

онным шагом в увеличении его выхода. Ведь в ходе экспериментов его валовой выход составил 46,8%. Это значительно более высокий выход, чем при классическом методе.

При обычной щелочной варке максимальный выход целлюлозы составил 38,9%. Это значение было известно при варке стеблей хлопчатника 20% гидроксидом натрия при высоком давлении (1,5 бар) и длительном времени (4 часа) при температуре 120°C. А минимальный выход целлюлозы составляет 31,8%, что достигается при следующих условиях заваривания: концентрация активной щелочи составляет 10%, температура - 120°C, а время - 2 часа. Кроме того, анализируя результаты эксперимента, можно заметить, что по мере увеличения концентрации щелочи и времени варки увеличивается выход целлюлозы. Следовательно, степень делигнификации также показывает гораздо более высокий показатель.

Чистота целлюлозы, полученная в ходе экспериментов, оценивалась по двум параметрам: ИК-Фурье спектроскопия и оценка степени делигнификации по определению числа Каппа. В ИК-спектроскопическом методе полученная в ходе эксперимента целлюлоза оценивалась по поло-

сам, видимым в ИК-зоне исходного образца, и характеризовалась уменьшением интенсивности полос, указывающих на неспецифические функциональные группы целлюлозы, наблюдаемые в исходном образце, или их полным исчезновением. А в представлении результатов, полученных методом определения степени делигнификации по числу Каппа, можно сформировать следующую гипотезу: «Существует обратная пропорциональная зависимость между выходом целлюлозы и числом Каппа. Он отмечает, что высокий выход обычно указывает на небольшое количество лигнина в целлюлозе, что способствует эффективному выделению целлюлозы. Увеличение значения числа Каппа, в свою очередь, указывает на большее количество лигнина в целлюлозе, что требует большего количества перекиси водорода для эффективного процесса отбеливания». Таким образом, чем меньше значение числа Каппа, тем больше выход целлюлозы.

По результатам материального баланса, для получения 1 кг целлюлозы требуется 2,57 кг стеблей хлопчатника. В процессе производства используются 12,85 кг 20% раствора NaOH, 5,14 кг соляной кислоты, 5,14 л хлороформа и 2 кг 3% перекиси водорода. Из стеблей после экстракции выделяется 0,09 кг масел и восков, а конечный выход - 1 кг целлюлозы. Отходы, такие как лигнин и примеси, составляют 1,31 кг. Важно эффективно управлять отходами и отработанными раствора-

ми, чтобы снизить их экологическое воздействие.

Таким образом, переработка стеблей хлопчатника и других отходов в лигноцеллюлозу и целлюлозу может стать источником новых экономических возможностей как для мира, так и для региона, где хлопчатник интенсивно культивируется. Создание заводов по производству этих продуктов неизбежно способствует созданию рабочих мест и привлечению инвестиций. Развитие переработки стеблей хлопчатника дает значительные усилия по диверсификации экономики региона. Вместо того, чтобы полагаться только на экспорт сырья, Казахстан должен начать увеличивать стоимость своей продукции, что, как известно, сделает ее экономику более устойчивой.

Переработка стеблей хлопчатника и других его отходов может помочь сократить количество отходов, которые обычно выбрасываются в виде мусора или сжигаются массово после сбора хлопчатника. Решением этих проблем может быть переработка этих отходов и извлечение из них ценных продуктов, чтобы избежать глобального потепления и других негативных последствий для окружающей среды.

Данная научная работа является исследовательской и посвящена изучению и сравнению различных эффективных способов получения целлюлозы из стеблей хлопчатника, который выращивается в Туркестанской области.

References

1. Shatalov A.A., Pereira H. Xylose production from giant reed (*Arundo donax* L.): Modeling and optimization of dilute acid hydrolysis //Carbohydrate Polymers. -2012. - Vol. 87(1). -P. 210-217. DOI: 10.1016/j.carbpol.2011.07.041
2. Mohanty A. K., Misra M., Drzal L. T. (ed.). Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. - CRC press, 2005. DOI:10.1201/9780203508206
3. Narayan R. Biodegradable/compostable plastics. - 2005. -P. 28-35.
4. Akdeniz R. C., Acaroglu M., Hepbasli A. Cotton stalk as a potential energy source //Energy sources. - 2004. - Vol. 261. - P. 65-75.
5. Gomes R. S. et al. Cotton (*Gossypium*) plant residue for industrial fuel.: An economic assessment //Industrial crops and products. - 1997. - Vol. 7(1). - P. 1-8.
6. Li G. et al. Properties study of cotton stalk fiber/gypsum composite //Cement and Concrete Research. - 2003. - V. 33(1). - P. 43-46. DOI:10.1016/S0008-8846(02)00915-8

7. Du S. et al. High-pressure assist-alkali pretreatment of cotton stalk and physiochemical characterization of biomass //Bioresource technology. - 2013. - Vol. 148. - P. 494-500. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.09.020
8. Silverstein R. A. et al. A comparison of chemical pretreatment methods for improving saccharification of cotton stalks //Bioresource technology. - 2007. - Vol. 98(16). - P. 3000-3011. DOI:10.1016/j.biortech.2006.10.022
9. Rehman M. S. U. et al. Optimization of sono-assisted dilute sulfuric acid process for simultaneous pretreatment and saccharification of rice straw //International Journal of Environmental Science and Technology. - 2014. - Vol. 11. - P. 543-550. DOI:10.1007/s13762-013-0294-0
10. Kapoor M. et al. Structural features of dilute acid, steam exploded, and alkali pretreated mustard stalk and their impact on enzymatic hydrolysis //Carbohydrate polymers. - 2015. - Vol. 124. - P. 265-273. DOI:10.1016/j.carbpol.2015.02.044
11. Cao X. et al. Comparative study of the pyrolysis of lignocellulose and its major components: Characterization and overall distribution of their biochars and volatiles //Bioresource technology. - 2014. - Vol. 155. - P. 21-27. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.12.006
12. Al Shra'ah A., Helleur R. Microwave pyrolysis of cellulose at low temperature //Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. - 2014. - Vol. 105. - P. 91-99. DOI: 10.1016/j.jaap.2013.10.007
13. Lin T., Goos E., Riedel U. A sectional approach for biomass: Modelling the pyrolysis of cellulose //Fuel processing technology. - 2013. - V. 115. - P. 246-253. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.03.048>
14. Li J. et al. Characteristics and deoxy-liquefaction of cellulose extracted from cotton stalk //Fuel. - 2016. - V. 166. - P. 196-202. DOI:10.1016/j.fuel.2015.10.115

Сведения об авторах

- Куртибай Қ.А. - магистрант, научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: kurtibayqb@gmail.com;
- Қаппасұлы Ә. - магистр техники и технологии, научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: kappasuly@mail.ru;
- Үсенова А.Ә. - магистр естествознания, генеральный директор ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: ussenovaaall@gmail.com;
- Жатқанбаев Е.Е. - д.т.н., ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: erlan.ntp@mail.ru;
- Жатқанбаева Ж.К. - к.х.н., доцент, Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: zhanna01011973@mail.ru;
- Молдагулова Н.Б. - к.в.н, ведущий научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: m_nazira1967@mail.ru;
- Молдагулова Ә.Б. - младший научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: molgagulova_elmira1968@mail.ru.

Information about the authors

- Kurtibay K.A. - Master's student, Research Associate of «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: kurtibayqb@gmail.com;
- Kappasuly A. - Master of Engineering and Technology, Research Associate, «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: kappasuly@mail.ru;
- Ussenova A.A. - Master of Natural Sciences, General Director, «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: ussenovaaall@gmail.com;

Zhatkanbayev Ye.Ye. - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: erlan.ntp@mail.ru;

Zhatkanbayeva Zh.K. - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanna01011973@mail.ru;

Moldagulova N.B. - Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher, «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail:

m_nazira1967@mail.ru.

E.B. Moldagulova - junior researcher, «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: molgagulova_elmira1968@mail.ru.

STUDY OF WASTEWATER TREATMENT EFFICIENCY USING A COMBINED METHOD OF FORWARD AND REVERSE OSMOSIS INTEGRATED WITH ACTIVATED CARBON TREATMENT**¹K.A. Kurtibay[✉], ²Ye.Ye. Zhatkanbayev, ¹A. Kappassuly, ¹A.A. Ussenova ³Zh.K. Zhatkanbayeva, ¹N.B. Moldagulova, ¹E.B. Moldagulova**¹«Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP,
Astana, Kazakhstan,²Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov,
Astana, Kazakhstan,³L.N. Gumilyev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan[✉]Correspondent-author: kurtibayqb@gmail.com

In Kazakhstan, the issue of providing the population with quality drinking water remains one of the topical and important issues. Despite significant efforts in the field of infrastructure and water treatment technologies, many regions of Kazakhstan still face problems of pollution and insufficient water resources. In this regard, the development of effective water treatment methods is of particular importance. This study considers the issue of wastewater treatment by the combined method of forward and reverse osmosis, which is a key direction in modern water treatment. The relevance of the work is the use of integration of forward osmosis methods with the process of adsorption by powdered activated carbon in wastewater treatment. The use of powdered activated carbon in the process of wastewater treatment leads to a reduction in the content of organic matter, which are water pollutants. As a result of the experiment with pretreatment of wastewater with powdered activated carbon, a decrease in the level of chemical oxygen demand (COD) in wastewater from 538 mg O/dm³ to 256 mg O/dm³ was observed, as well as a relative decrease in the concentration of other indicators. The draw solution in the form of 1.5 M NaCl gradually drawing water molecules from the feed solution pretreated with activated carbon on the tenth day had a concentration of 0.425 M absorbing 2.529 liters of water entering through the membrane that is 27.6% more than the control version of the experiment. The effectiveness of integrated methods lies in the successful combination of different technologies to improve water treatment processes and ensure the availability of clean water not only in Kazakhstan, but also in different parts of the world.

Key words: wastewater treatment, forward osmosis, wastewater, powdered activated carbon, chemical oxygen demand (COD), organic pollutants, reverse osmosis.

**БЕЛСЕНДІРІЛГЕН КӨМІРМЕН ӨҢДЕУМЕН ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ТІКЕЛЕЙ ЖӘНЕ КЕРІ
ОСМОС ӘДІСІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТА ЗАРТУ ТИІМДІЛІГІН
ЗЕРТТЕУ****¹Қ.А. Куртибай[✉], ²Е.Е. Жатқанбаев, ¹Ә. Қаппасұлы, ¹А.Ә. Үсенова, ³Ж.К. Жатқанбаева, ¹Н.Б. Молдагулова, ¹Ә.Б. Молдагулова**¹«Экологиялық және өнеркәсіптік биотехнологияның ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС,
Астана, Қазақстан,²Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті,
Астана, Қазақстан,

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: kurtibayqb@gmail.com

Қазақстанда халықты сапалы ауыз сумен қамтамасыз ету мәселесі өзекті және маңызды мәселелердің бірі болып қала береді. Инфрақұрылым және су дайындау технологиялары саласындағы елеулі күш-жігерге қарамастан, Қазақстанның көптеген өңірлері әлі де судың ластануы мен жеткіліксіздігі проблемаларына тап болып отыр. Осыған байланысты суды тазартудың тиімді әдістерін жасау ерекше маңызға ие. Бұл зерттеу ағынды суларды тікелей және кері осмостың аралас әдісімен тазарту мәселесін қарастырады, бұл қазіргі заманғы суды дайындаудың негізгі бағыты болып табылады. Жұмыстың өзектілігі ағынды суларды тазарту кезінде ұнтақталған белсендірілген көмірмен адсорбциялау процесімен тікелей осмос әдістерін интеграциялау арқылы қолдану болып табылады. Ағынды суларды тазарту процесінде ұнтақталған белсендірілген көмірді пайдалану суды ластайтын органикалық заттардың азаюына әкеледі. Ағынды суларды ұнтақталған белсендірілген көмірмен алдын ала өңдеу экспериментінің нәтижесінде ағынды сулардағы оттегінің химиялық тұтынылу (ОХТ) деңгейінің 538 мгО/дм³-тен 256 мгО/дм³-ке дейін төмендеуі, сондай-ақ басқа көрсеткіштер концентрациясының салыстырмалы төмендеуі байқалады. 1,5 М NaCl түріндегі тартқыш ерітіндісі су молекулаларын алдын ала белсендірілген көмірмен өңделген бастапқы ерітіндіден оныншы күні біртіндеп тартып, 0,425 М концентрациясына ие болып, мембрана арқылы өткен су 2,529 литрді құрады. Бұл эксперименттің бақылау нұсқасына қарағанда 27,6% - ға көп. Интеграцияланған әдістердің тиімділігі суды тазарту процесстерін жақсарту және таза судың тек Қазақстанда ғана емес, әлемнің әр түкпірінде де қолжетімділігін қамтамасыз ету мақсатында түрлі технологияларды сәтті комбинациялаудан құралады.

Түйін сөздер: ағынды суларды тазарту, тікелей осмос, ағынды сулар, ұнтақталған белсендірілген көмір, оттегінің химиялық тұтынылуы (ОХТ), органикалық ластаушы заттар, кері осмос.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА ПРЯМОГО И ОБРАТНОГО ОСМОСА, ИНТЕГРИРОВАННОГО С ОБРАБОТКОЙ АКТИВИРОВАННЫМ УГЛЕМ

¹Қ.А. Куртибай✉, ²Е.Е. Жатқанбаев, ¹Ә. Қаппасұлы, ¹А.Ә. Үсенова, ³Ж.К. Жатқанбаева,
¹Н.Б. Молдагулова, ¹Ә.Б. Молдагулова

¹ ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии»,
Астана, Казахстан,

² Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан,

³ Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан,

e-mail: kurtibayqb@gmail.com

В Казахстане вопрос обеспечения населения качественной питьевой водой остается одним из актуальных и важных. Несмотря на значительные усилия в области инфраструктуры и технологий водоподготовки, многие регионы Казахстана по-прежнему сталкиваются с проблемами загрязнения и недостаточности водных ресурсов. В связи с этим особое значение приобретает разработка эффективных методов очистки воды. В данном исследовании рассматривается вопрос очистки сточных вод комбинированным методом прямого и обратного осмоса, который является ключевым направлением в современной водоподготовке. Актуальностью работы является использование интеграции методов прямого осмоса с процессом адсорбции порошкообразным активированным углем при очистке

сточных вод. Использование порошкообразного активированного угля в процессе очистки сточных вод приводит к уменьшению содержания органических веществ, которые являются загрязняющими воду. В результате эксперимента с предварительной обработкой сточных вод порошкообразным активированным углем наблюдается снижение уровня химического потребления кислорода (ХПК) в сточной воде с 538 мг О/дм³ до 256 мг О/дм³, а также относительное уменьшение концентрации других показателей. Вытяжной раствор в виде 1,5 М NaCl постепенно вытягивая молекул воды с исходного раствора предварительно обработанного активированным углем на десятый день имел концентрацию 0,425 М поглощая 2,529 литров поступающей через мембрану воды что на 27,6% больше, чем на контрольном варианте эксперимента. Эффективность интегрированных методов заключается в успешном сочетании различных технологий с целью улучшения процессов очистки воды и обеспечения доступности чистой воды не только в Казахстане, но и в различных уголках мира.

Ключевые слова: очистка сточных вод, прямой осмос, сточные воды, порошкообразный активированный уголь, химическое потребление кислорода (ХПК), органические загрязнители, обратный осмос.

Introduction. In the modern world, the problem of access to clean drinking water remains one of the most urgent, affecting the health and well-being of mankind. In Kazakhstan, the issue of providing the population with quality drinking water remains one of the urgent and important.

The main pollutants in both natural and polluted water are microorganisms, as well as organic and inorganic substances. Wastewaters are solid and liquid substances in water that enter the sewer system as a by-product of society's activities. They include dissolved and suspended organic solids that undergo decomposition or biodegradation [1]. Over time, domestic and industrial wastewater increasingly contains non-biodegradable organic compounds such as humic substances, which reduce the effectiveness of low-cost wastewater treatment methods [2].

Forward osmosis is used to treat municipal wastewater that is treated in municipal wastewater treatment plants [3]. Forward osmosis membrane systems can remove large ions and concentrate wastewater 10-15 times [4]. Forward osmosis can be integrated with reverse osmosis in a hybrid system. In this case, forward osmosis is used to pre-treat wastewater to produce high quality water, which is then used to dilute seawater before the reverse osmosis step. Another study [5] used a hybrid process combining direct osmosis and membrane distillation to remove tetracycline from wastewater. This method provided a purification

rate of 99.9%, and the water recovery efficiency was 15-22%. In addition to water recovery, forward osmosis can be used to treat wastewater to extract nutrients and generate energy [6]. Examples of such recovery include biogas production and recovery of valuable components such as phosphates, ammonia, and potassium. Moreover, forward osmosis can help to improve the environmental sustainability of treatment processes by reducing energy costs and decreasing the burden on the environment [6].

As a result, numerous physicochemical treatment methods such as coagulation, flocculation, adsorption and accelerated oxidation have been proposed and investigated for effective wastewater treatment [7]. However, physicochemical treatment methods alone are not sufficient to completely remove various organic pollutants from wastewater. To address these limitations, the use of membrane filtration processes in combination with these methods has been proposed. Membrane filtration methods such as nanofiltration (NF) and reverse osmosis (RO) have been successfully used for wastewater treatment. However, operation at high transmembrane pressure increases operating costs and leads to significant organic fouling of the membrane [8,9].

From an economic point of view, the forward osmosis (FO) process is superior to nanofiltration (NF) and reverse osmosis (RO) due to several advantages. These advantages include efficient removal of organic and inorganic contaminants,

no need for external hydraulic pressure, and less membrane fouling with better reversibility [10]. As previously stated, the application of membrane filtration techniques in integration with pretreatment by physicochemical methods such as, coagulation, flocculation, magnetic ion exchange resins and powdered activated carbon to avoid membrane fouling shows high efficiency [11].

Pretreatment of wastewater to remove organic pollutants with powdered activated carbon has attracted attention due to its advantages in conjunction with membrane filtration processes. Powdered activated carbon provides improved membrane surface cleaning, effective reduction of irreversible fouling and removal of organic matter.

Currently, biochar stands out as a promising alternative with additional advantages such as environmental sustainability, low production cost, soil fertility enhancement and carbon sequestration. Biochar also possesses additional cationic functional groups, which makes it easy to modify its surface properties to improve functionality [12].

The use of adsorption pretreatment for partial removal of organic pollutants provides reduction of chemical oxygen demand (COD) of wastewater.

Methods and Materials. As an object of study for wastewater treatment by direct osmosis method, incoming wastewater was taken. The wastewater sample was collected in the volume of 10 liters at the sewage treatment plant (STP) located in the vicinity of Astana, Kazakhstan.

To determine the efficiency integrated using powdered activated carbon, experiments were performed without adsorption step and with pretreatment with powdered activated carbon for adsorption to investigate a larger flow of clean water. 1.5 M NaCl was used as a draw solution with higher osmotic pressure than the stock solution. The concentration of the stock and draw solutions was measured every 24 hours for 10 days.

Adsorption of wastewater using powdered activated carbon

For adsorption, untreated wastewater is filtered through filter paper to remove coarse suspended solids and the filtrate in a total volume of 500

cm³ is placed in Erlenmeyer flasks, then 3.5 g/L powdered activated carbon is added to the filtrate. The flasks were then placed on a horizontal shaker for intensive-continuous stirring at 150 r/min for 24 hours at room temperature (25-28°C). During the experiment, the pH of the solution was maintained at 7 by adding 5M HCl or 5M NaOH every 4 hours. After adsorption, the solution was filtered through a paper filter with a pore diameter of 0.45 µm and the resulting filtrate was stored for the following analyses [13]. After treatment of the initial sample by adsorption with powdered activated carbon, a general physicochemical analysis was performed.

Physico-chemical methods of research

Refractometry. To determine the concentration of sodium chloride and sucrose solutions, the refractometry method was used using a refractometer of Abbemat 350/550 Performance Plus series (Anton Paar, Austria). All analyses were performed in triplicate.

Determination of chemical oxygen demand (COD). COD was measured according to GOST 31859-2012 “Water. Method for determination of chemical oxygen demand” on the Expert 003 device (spectrophotometer with thermoreactor). Calibration of the device was carried out with solutions of the standard sample of chemical oxygen consumption GSO 7552-99. The device has a function of built-in construction of calibration curve and automatic determination of COD value.

Determination of chloride ions. Determination of chloride content was carried out according to GOST 26425-85 “Method for determination of chloride in water extract”, the method of determination - titration by silver nitrate solution with potassium bichromate indicator.

Determination of ammonium nitrogen. Determination of ammonium and nitrate nitrogen according to GOST 15476-2013 “Fertilizers. Determination of nitrate and ammonium nitrogen by the Devard method”.

Determination of nitrates and nitrites. Determination of nitrates and nitrites in water was carried out according to GOST 33045-2014 “Water. Methods of determination of nitrogen-

containing substances”, the method of determination by photocalorimetry.

Determination of phosphate ions. Determination of phosphate content in water according to GOST 18309-2014 “Water. Methods of determination of phosphorus-containing substances”.

Determination of suspended solids. Suspended solids were determined according to PND F 14.1:2:4.254-09 “Methods of measuring mass concentrations of suspended and calcined suspended solids in drinking, natural and waste water samples by gravimetric method”.

Processing of the obtained results

The osmotic pressure of solutions with known concentration was determined by the osmotic pressure (π) Vant-Goff equation:

$$\pi = C(x)RT \tag{1}$$

The osmotic pressure gradient of the initial and extraction solutions was determined by the equation:

$$\Delta\pi = \pi_{DS} - \pi_{FS} \tag{2}$$

Water flux is determined by water transport across the semipermeable membrane due to osmotic pressure difference by equation [14]:

$$J_w = A(\pi_{DS} - \pi_{FS}) \tag{3}$$

The analysis and processing of the obtained data was carried out through calculations and equations, and visualizations in the form of graphs and charts were constructed using Microsoft Excel software (Office 16)

Results and discussion. Before the beginning of all experiments the initial general physico-chemical analysis of the selected sample of incoming wastewater of the sewage treatment plant of Astana city was carried out. All chemical analyses were carried out in accordance with the State standards. The results of the general physico-chemical analysis are given in Table 1.

Table 1 - Indicators of physico-chemical analysis of incoming wastewater of the sewage treatment plant of Astana city

Name of physico-chemical parameters	Results
pH	7,83
Temperature	22
COD, mg O/dm ³	538
Suspended solids, mg/ dm ³	2584
Phosphorus (PO ₄), mg/ dm ³	3,69
Ammonium nitrogen, mg/ dm ³	18,34
Nitrite nitrogen, mg/ dm ³	1,51
Nitrate nitrogen, mg/ dm ³	8,26
Chlorides, mg/ dm ³	13,2
Ash content, %	128

According to the results of the general physico-chemical analysis we can notice a high level of water pollution by organic substances, which is estimated by the value of chemical oxygen demand (COD) of the object under study. In this case, the incoming wastewater of the sewage treatment plant of Astana city has COD - 538 mg O/dm³. Also relatively high content of nitrate, nitrite,

ammonium, phosphate and chloride ions, exceeding the maximum permissible concentration (MPC). The hydrogen index of this wastewater is 7.83, which characterizes the alkalinity of this sample.

Adsorption of wastewater using powdered activated carbon

For adsorption, the untreated wastewater is

filtered through filter paper to remove coarse suspended solids and the filtrate in a total volume of 500 cm³ is placed in Erlenmeyer flasks, then 3.5 g/L powdered activated carbon is added to the filtrate. The flasks were then placed on a horizontal shaker for intensive-continuous stirring at 150 r/min for 24 hours at room temperature (25-28°C). During the experiment, the pH of the solution was maintained at 7 by adding 5M HCl or 5M NaOH every 4 hours.

After adsorption, the solution was filtered through a paper filter with a pore diameter of 0.45 µm and the resulting filtrate was stored for the following analyses [13]. After treatment of the initial sample by adsorption with powdered activated carbon, a general physicochemical analysis was carried out.

The results obtained after adsorption are shown in Table 2.

Table 2 - Indicators of general physicochemical analysis after adsorption

Name of physico-chemical parameters	Results
pH	7,71
Temperature	25
COD, mg O/dm ³	256
Suspended solids, mg/ dm ³	367
Phosphorus (PO ₄), mg/ dm ³	3,25
Ammonium nitrogen, mg/ dm ³	17,67
Nitrite nitrogen, mg/ dm ³	1,42
Nitrate nitrogen, mg/ dm ³	8,11
Chlorides, mg/ dm ³	12,84
Ash content, %	84

According to the results obtained after the analysis with pretreatment with powdered activated carbon we can observe a decrease in COD level of wastewater from 538 mg O/dm³ to 256 mg O/dm³. And also, relative decrease of concentration of other indicators.

Integration of the adsorption process with a forward osmosis system

The forward osmosis system used was a plant that was designed for desalination of sea salt water. The process of concentrating wastewater to produce clean secondary water was carried out in a similar way to the forward osmosis desalination method, since the basic principle of this method is the same for all types of treatment, recovery and concentration. The methods differ only in that, depending on the purpose, chemical composition, concentration and osmotic pressure of the feed solution, different draw solutions are used, respectively higher osmotic pressure than the feed solution for greater water flux through

the semipermeable membrane. And also, different membranes of different nature are applied relative to the purpose of the solution.

To determine the efficiency integrated using powdered activated carbon, experiments were performed without adsorption step and with pretreatment with powdered activated carbon for adsorption to investigate the higher flow of pure water. 1.5 M NaCl was used as a draw solution with higher osmotic pressure than the feed solution. Concentration measurements of feed and draw solutions were made every 24 hours for 10 days. The water flux was measured by evaluating the change in concentration and osmotic pressure of sodium chloride in the feed and draw solutions, as well as the change in the volume of solution in the draw solution compartment. The concentration of sodium chloride was measured by refractometry.

The results of experiments on water treatment by forward osmosis method without pretreatment and by complex method are given in Tables 3-4.

Table 3 - Wastewater treatment by forward osmosis without pretreatment with powdered activated carbon

Time, days	0	2	4	6	8	10
COD, mg O/dm ³	538	1216	1932	2367	2527	2714
NO ₃ ⁻ , mg O/dm ³	8,26	18,66	29,96	36,7	39,18	42,08
NH ₄ ⁺ , mg O/dm ³	18,34	41,45	66,52	81,48	86,99	93,43
PO ₄ ⁻ , mg O/dm ³	3,69	8,34	13,38	16,39	17,5	18,8
NO ₂ ⁻ , mg O/dm ³	1,51	3,41	5,47	6,7	7,16	7,69
Cl ⁻ , mg O/dm ³	13,2	29,81	47,82	58,57	62,59	67,22
Concentration of draw solution, mol/L	1,5	1,252	1,128	0,985	0,912	0,884
Osmotic pressure of draw solution π , Pa	–	3,102*10 ³	2,795*10 ³	2,440*10 ³	2,260*10 ³	2,143*10 ³
Gradient of osmotic pressure $\Delta\pi$, Pa	–	2,054*10 ³	1,850*10 ³	1,616*10 ³	1,497*10 ³	1,450*10 ³
Water flux J _w , L*m ⁻² *h ⁻¹	–	20,54	18,5	16,15	14,97	14,5
Volume of clean water, ml	–	0,198	0,131	0,198	0,122	0,054

Table 4 - Wastewater treatment by integrated forward osmosis method with pretreatment with powdered activated carbon

Time, days	0	2	4	6	8	10
COD, mg O/dm ³	256	1024	1792	2612	2965	3288
NO ₃ ⁻ , mg O/dm ³	8,11	32,44	56,77	82,75	93,9	104,16
NH ₄ ⁺ , mg O/dm ³	17,67	70,68	123,69	180,29	204,58	226,94
PO ₄ ⁻ , mg O/dm ³	3,25	13	22,75	33,16	37,63	41,74
NO ₂ ⁻ , mg O/dm ³	1,42	5,68	9,94	14,48	16,43	18,23
Cl ⁻ , mg O/dm ³	12,84	51,36	89,88	130,93	148,56	167,84
Concentration of draw solution, mol/L	1,5	1,056	0,884	0,693	0,512	0,425
Osmotic pressure of draw solution π , Pa	–	2,616*10 ³	2,190*10 ³	1,717*10 ³	1,269*10 ³	1,053*10 ³
Gradient of osmotic pressure $\Delta\pi$, Pa	–	2,386*10 ³	1,998*10 ³	1,566*10 ³	1,157*10 ³	0,961*10 ³
Water flux J _w , L*m ⁻² *h ⁻¹	–	23,86	19,98	15,66	11,57	9,61
Volume of clean water, ml	–	0,42	0,249	0,498	0,763	0,599

A forward osmosis system without adsorbent pretreatment of the feed solution was taken into consideration as a control for this experiment, which allowed us to compare the water flux through the membrane and membrane fouling potential with

the integrated forward osmosis method with pre-adsorption by powdered activated carbon.

The integrated method with pre-adsorption with powdered activated carbon resulted in a significant

increase in the maximum water flux, which is observed after 2 days from the beginning of the experiment compared to the control by 16.17%. In addition, judging by the results obtained, it can be seen that after pretreatment of wastewater with activated carbon, the membrane fouling potential decreases, at the expense of this wastewater in the compartment for feed water is more quickly concentrated losing water molecules, and the draw solution is diluted reducing its osmotic pressure to the onset of osmotic pressure equilibrium in the two compartments. The draw solution in the form of 1.5 M NaCl gradually drawing water molecules from the feed solution on day 10 had a concentration of 0.425 M absorbing 2.529 liters of water entering through the membrane, which is 27.6% more than the control version of the experiment.

Concentrated wastewater with a significantly higher content of organic matter can serve as an alternative substrate for anaerobic digestion [15], most often carried out for biogas production. The high content of organic matter in concentrated wastewater is evidenced by COD values, which reached 2714 mg O/dm³ in the control, and in the experiment with pretreatment due to high water flux concentrated to 3288 mg O/dm³ despite the fact that during adsorption part of the organic matter remained on the sorbent.

Pure water recovery by reverse osmosis method

To obtain clean secondary water for domestic and agricultural use, a number of methods are used today. One of these methods is the reverse osmosis method. In comparison with forward osmosis, reverse osmosis has a number of disadvantages such as high energy consumption, high degree of membrane fouling, scaling, etc. Therefore, modern researchers have proposed a hybrid method “FO-RO”, a method of forward and reverse osmosis [16].

After completion of wastewater treatment by forward osmosis, a dilute draw solution remains from which pure water must be extracted. Extraction of pure water by thermal distillation requires a lot of electrical energy and takes more time. Thus, it was decided to recover pure water from dilute solutions using «Atoll» reverse osmosis systems with a pure water flux capacity of 7.5 liters

per hour.

Conclusions. Application of adsorption method by powdered activated carbon in wastewater treatment allows to reduce the concentration of organic substances that pollute water. According to the results of the experiment with pretreatment of wastewater with powdered activated carbon we can observe a decrease in the level of COD of wastewater from 538 mgO/dm³ to 256 mgO/dm³. As well as a relative decrease in the concentration of other indicators.

The use of the integrated method of pre-adsorption of wastewater by powdered activated carbon led to a significant increase in the maximum water flux, which is observed after 2 days from the beginning of the experiment compared to the control by 16.17%. In addition, judging by the results obtained, it can be seen that after pretreatment of wastewater with activated carbon, the membrane fouling potential decreases, at the expense of this wastewater in the compartment for feed water is more quickly concentrated losing water molecules, and the draw solution is diluted reducing its osmotic pressure to the onset of osmotic pressure equilibrium in the two compartments. The draw solution in the form of 1.5 M NaCl gradually drawing water molecules from the feed solution on day 10 had a concentration of 0.425 M absorbing 2.529 liters of water entering through the membrane, which is 27.6% more than the control version of the experiment. After completion of wastewater treatment by forward osmosis method, there remains a dilute draw solution from which pure water should be extracted. Extraction of pure water by thermal distillation requires a lot of electricity and takes more time. Therefore, it was decided to recover pure water from diluted solutions by reverse osmosis method using reverse osmosis systems «Atoll», the capacity of pure water flux of 7.5 l/h. Which proves the effectiveness of the combined method «FO-RO».

Thus, the results obtained at the end of the experiments indicate that wastewater treatment using the forward osmosis method, as well as the integration of this process with the activated carbon adsorption method, represent a cost-effective

and efficient approach to obtaining clean water processes and increase the availability of clean water for reuse in various industries and agriculture. not only in Kazakhstan, but also in other regions of These integrated methods can successfully combine the world. different technologies to improve water treatment

References

1. Sonune A., Ghate R. Developments in wastewater treatment methods //Desalination. – 2004. -Vol. 167. -P. 55-63. DOI 10.1016/j.desal.2004.06.113
2. Da Costa F. M. et al. Evaluation of the biodegradability and toxicity of landfill leachates after pretreatment using advanced oxidative processes //Waste management.-2018. -Vol. 76.- P. 606-613. DOI 10.1016/j.wasman.2018.02.030
3. Hey, T., Bajraktari, N., Davidsson, Å., Vogel, J., Madsen, H. T., Hélix-Nielsen, C., ... & Jönsson, K. Evaluation of direct membrane filtration and direct forward osmosis as concepts for compact and energy-positive municipal wastewater treatment //Environmental technology.- 2018. -Vol. 39(3).- P. 264-276. DOI 10.1080/09593330.2017.1298677
4. Gao, Y., Fang, Z., Liang, P., & Huang, X. Direct concentration of municipal sewage by forward osmosis and membrane fouling behavior //Bioresource technology. -2018. -Vol. 247.-P. 730-735. DOI 10.1016/j.biortech.2017.09.145
5. Pan, S. F., Dong, Y., Zheng, Y. M., Zhong, L. B., & Yuan, Z. H. Self-sustained hydrophilic nanofiber thin film composite forward osmosis membranes: Preparation, characterization and application for simulated antibiotic wastewater treatment //Journal of Membrane Science.- 2017. -Vol. 523.- P. 205-215.
6. Ansari, A. J., Hai, F. I., Price, W. E., Drewes, J. E., & Nghiem, L. D. Forward osmosis as a platform for resource recovery from municipal wastewater-A critical assessment of the literature //Journal of membrane science.-2017. -Vol. 529.-P. 195-206. DOI 10.1016/j.memsci.2017.01.054
7. Liu Z. P. et al. Characterization of dissolved organic matter in landfill leachate during the combined treatment process of air stripping, Fenton, SBR and coagulation //Waste Management. - 2015. -Vol. 41. -P. 111-118. DOI 10.1016/j.wasman.2015.03.044
8. Oloibiri V. et al. Characterisation of landfill leachate by EEM-PARAFAC-SOM during physical-chemical treatment by coagulation-flocculation, activated carbon adsorption and ion exchange //Chemosphere.- 2017. -Vol.186.-P. 873-883. DOI 10.1016/j.chemosphere.2017.08.035
- Šír M. et al. The effect of humic acids on the reverse osmosis treatment of hazardous landfill leachate //Journal of Hazardous Materials.-2012.-Vol.207.- P.86-90. DOI 10.1016/j.jhazmat.2011.08.079
9. Iskander S. M. et al. Energy consumption by forward osmosis treatment of landfill leachate for water recovery //Waste Management.-2017. -Vol.63.- P. 284-291. DOI 10.1016/j.wasman.2017.03.026
10. Dolar D., Košutić K., Strmecky T. Hybrid processes for treatment of landfill leachate: coagulation/UF/NF-RO and adsorption/UF/NF-RO //Separation and purification technology. – 2016.-Vol.168.- P. 39-46. DOI 10.1016/j.seppur.2016.05.016
11. Rajapaksha A. U. et al. Engineered/designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: potential and implication of biochar modification //Chemosphere. -2016. -Vol.148.-P. 276-291. DOI 10.1016/j.chemosphere.2016.01.043

-
12. Aftab B. et al. Targeted removal of organic foulants in landfill leachate in forward osmosis system integrated with biochar/activated carbon treatment //Water research. -2019. -Vol.160.-P. 217-227. DOI 10.1016/j.watres.2019.05.076
 13. Darwish M. A. et al. The forward osmosis and desalination //Desalination and Water Treatment. - 2016. -Vol. 57(10).-P. 4269-4295. DOI 10.1080/19443994.2014.995140
 14. Chen L. et al. Performance of a submerged anaerobic membrane bioreactor with forward osmosis membrane for low-strength wastewater treatment //Water research.- 2014.-Vol.50. -P. 114 -123. DOI 10.1016/j.watres.2013.12.009
 15. Bamaga O. A. et al. Hybrid FO/RO desalination system: Preliminary assessment of osmotic energy recovery and designs of new FO membrane module configurations //Desalination. - 2011. -Vol. 268(1-3).- P. 163-169. DOI 10.1016/j.desal.2010.10.013

Information about the authors

Kurtibay K.A. - Master's student, Research Associate of «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: kurtibayqb@gmail.com;

Zhatkanbayev Ye.Ye. - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: erlan.ntp@mail.ru;

Kappasuly A. - Master of Engineering and Technology, Research Associate, «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: kappasuly@mail.ru;

Ussenova A.A. - Master of Natural Sciences, General Director, «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: ussenovaaall@gmail.com;

Zhatkanbayeva Zh.K. - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanna01011973@mail.ru;

Moldagulova N.B. - Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher, «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: m_nazira1967@mail.ru;

Moldagulova E.B. - junior researcher, «Scientific and Production Center of Ecological and Industrial Biotechnology» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: molgagulova_elmira1968@mail.ru.

Сведения об авторах

Куртибай Қ.А.- магистрант, научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: kurtibayqb@gmail.com;

Жатқанбаев Е.Е. - д.т.н., ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: erlan.ntp@mail.ru;

Қаппасұлы Ә. -магистр техники и технологии, научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: kappasuly@mail.ru;

Үсенова А.Ә. - магистр естествознания, генеральный директор ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: ussenovaaall@gmail.com;

Жатқанбаева Ж.К. - к.х.н., доцент, Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: zhanna01011973@mail.ru;

Молдагулова Н.Б. - к.в.н, ведущий научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: m_nazira1967@mail.ru;

Молдагулова Э.Б.-младший научный сотрудник ТОО «Научно-производственный центр экологической и промышленной биотехнологии», Астана, Казахстан, e-mail: molgagulova_elmira1968@mail.ru.

STUDY OF THE BEHAVIOR OF ARSENIC IN COPPER ELECTROLYTE

Kh.B. Omarov✉, Zh.T. Nurtai, N.U. Nurgaliyev✉, A.Kh Takirova

K.Kulazhanov named Kazakh University of Technology and Business,
Astana, Kazakhstan

✉Correspondent-author: homarov1963@mail.ru, nurgaliyev_nao@mail.ru

In industrial wastewater, arsenic is most often present in the trivalent state. An analysis of existing purification methods shows that in all cases, with a few exceptions, the most complete removal of arsenic is observed from solutions in which it is in the pentavalent state. This is explained by the significantly lower solubility of arsenates of heavy and alkaline earth metals compared to the corresponding arsenites. The chemical oxidation of As(III) in the following systems was studied: As(III)-H₂SO₄-H₂O, As(III)-MeSO₄-H₂O, As(III)-H₂SO₄-MeSO₄-H₂O (where Me is Cu, Ni, Co, Mn, Zn). The influence of temperature, the amount of transition metal ions, the duration of the experiment, and the concentration of sulfuric acid on the degree of transition of As(III) to As(V) was studied. The effect of catalytic oxidation of As(III) in sulfuric acid solutions was discovered. The maximum degree of oxidation of trivalent arsenic (55-60%) is observed when transition metal salts are introduced into an arsenic solution in the presence of a platinum plate. It has been established that the nature of the studied transition metal salts (Cu²⁺, Ni²⁺, Co²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺), process duration and temperature do not have a significant effect on the degree of As(III) conversion. The results obtained largely explain the predominance of pentavalent forms of arsenic in production solutions of non-ferrous metallurgy.

Keywords: copper electrolyte, arsenic, transition metals, catalytic role, instant oxidation effect, activated oxygen.

МЫС ЭЛЕКТРОЛИТІНДЕГІ МЫШЬЯКТИҢ КҮЙІН ЗЕРТТЕУ

Х.Б. Омаров✉, Ж.Т. Нұртай, Н.У. Нурғалиев✉, А.Х. Такирова

Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: homarov1963@mail.ru, nurgaliyev_nao@mail.ru

Өнеркәсіптік ағынды суларда мышьяк көбінесе үш валентті күйде болады. Қолданыстағы тазарту әдістерін талдау барлық жағдайларда, бірнеше ерекшеліктерді қоспағанда, мышьяқтың ең толық жойылуы оның бес валентті күйде болатын ерітінділерден байқалатынын көрсетеді. Бұл ауыр және сілтілі жер металдарының арсенаттарының сәйкес арсениттермен салыстырғанда айтарлықтай төмен ерігіштігімен түсіндіріледі. Жүйелердегі As(III) химиялық тотығуы: As(III)-H₂SO₄-H₂O, As(III)-MeSO₄-H₂O, As(III)-H₂SO₄-MeSO₄-H₂O (мұндағы Me - Cu, Ni, Co, Mn, Zn). As(III)-тің As(V)-ке өту дәрежесіне температураның, өтпелі металл иондарының мөлшерінің, тәжірибенің ұзақтығының және күкірт қышқылының концентрациясының әсері зерттелді. Күкірт қышқылы ерітінділеріндегі As(III) каталитикалық тотығуының әсері ашылды. Үш валентті мышьяқтың максималды тотығу дәрежесі (55-60%) өтпелі металл тұздарын платина пластинасының қатысуымен мышьяк ерітіндісіне енгізгенде байқалады. Зерттелетін өтпелі металл тұздарының табиғаты (Cu²⁺, Ni²⁺, Co²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺), процестің ұзақтығы мен температурасы As(III) түрлену дәрежесіне айтарлықтай әсер етпейтіні анықталды. Алынған нәтижелер түсті металлургияның өндірістік ерітінділерінде мышьяқтың бес валентті түрлерінің басым болуын көптеп түсіндіреді.

Түйін сөздер: мыс электролиті, мышьяк, өтпелі металдар, каталитикалық рөл, лезде тотығу эффектісі, белсендірілген оттегі.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ МЫШЬЯКА В МЕДНОМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ

Х.Б. Омаров✉, Ж.Т. Нұртай, Н.У. Нургалиев✉, А.Х. Такирова

¹Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан,
e-mail: homarov1963@mail.ru, nurgaliev_nao@mail.ru

В промышленных сточных водах мышьяк присутствует чаще всего в трехвалентном состоянии. Анализ существующих способов очистки показывает, что во всех случаях за небольшим исключением, наиболее полное удаление мышьяка наблюдается из растворов, в которых он находится в пятивалентном состоянии. Объясняется это значительно меньшей растворимостью арсенатов тяжелых и щелочноземельных металлов по сравнению с соответствующими арсенитами. Исследовано химическое окисление As(III) в системах: As(III)-H₂SO₄-H₂O, As(III)-MeSO₄-H₂O, As(III)-H₂SO₄-MeSO₄-H₂O (где Me - Cu, Ni, Co, Mn, Zn). Изучено влияние температуры, количества ионов переходных металлов, продолжительности опыта, концентрации серной кислоты на степень перехода As(III) в As(V). Обнаружен эффект каталитического окисления As(III) в сернокислых растворах. Максимальная степень окисления трехвалентного мышьяка (55-60%) наблюдается при введении в мышьяковый раствор солей переходных металлов в присутствии платиновой пластинки. Установлено, что природа изученных солей переходных металлов (Cu²⁺, Ni²⁺, Co²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺), продолжительность процесса и температура не оказывают существенного влияния на степень превращения As(III). Полученные результаты во многом объясняют факт преобладания пятивалентных форм мышьяка в производственных растворах цветной металлургии.

Ключевые слова: медный электролит, мышьяк, переходные металлы, каталитическая роль, эффект мгновенного окисления, активированный кислород.

Introduction. In hydrometallurgical methods for producing non-ferrous metals, the electrorefining process is characterized by the accumulation of impurities in the electrolyte, one of which is arsenic. Depending on the type of production, arsenic in aqueous solutions can be in various forms. In the presence of free sulfide ions in water, arsenic is present in the form of anions of thiosalts AsS₂⁻, AsS₃³⁻ and AsS₄³⁻, in other cases - in the form of oxygen-containing molecules and anions. The form of existence of arsenic in aqueous solutions depends on its valency [1-2].

According to literature data [3, 4], during electrorefining of copper, 60-80% of arsenic passes from the anode into the electrolyte, the rest goes into sludge. The distribution of arsenic between the electrolyte and sludge, as well as the form of its presence in the solution, depends on the composition

of the electrolyte and the electrolysis mode. For example, the presence of As and Sb of different valencies in the electrolyte leads to the precipitation of antimony-arsenic (Sb³⁺-As⁵⁺) and antimony-arsenic (Sb⁵⁺-As³⁺) precipitation. An increase in the total content of impurities in the electrolyte leads to an increase in the electrical resistance of the solution and its viscosity, an increase in electricity consumption, a decrease in current efficiency and an increase in the content of harmful impurities in the cathode metal. Therefore, blister copper, as the main raw material of the copper electrorefining process, determines the composition of the electrolyte during electrolysis. An increase in the content of impurities such as nickel, arsenic and antimony leads to the production of defective copper or copper of low grades.

During the processing of technogenic arsenic-

containing materials by hydrometallurgical methods, a large proportion of arsenic goes into solution in trivalent form. Practice and research show that arsenic in copper electrolyte is mainly pentavalent. For effective purification and precipitation of sparingly soluble iron arsenates, it is necessary to oxidize arsenic (III) ions to the pentavalent state [5]. If we take into account that during electrochemical oxidation, metallic arsenic forms arsenic trioxide [6, 7], then elucidating the reasons for this fact is an interesting problem.

The relevance of these studies is due to the need to remove arsenic from the technological process of non-ferrous metal production in an environmentally safe form, taking into account their subsequent storage or disposal. Such forms are arsenates, where arsenic is pentavalent.

Materials and methods. To obtain information about the behavior of arsenic in a copper electrolyte, the chemical oxidation of As(III) was studied in the following systems: As (III)-H₂SO₄-H₂O, As (III)-MeSO₄-H₂O, As(III)-H₂SO₄-MeSO₄-H₂O (where Me - Cu, Ni, Co, Mn, Zn). Trivalent arsenic was introduced into the studied systems in the form of sodium arsenite (0,011 gEq/l) and solid trioxide. The influence of temperature, the amount of transition metal ions, the duration of the experiment, and the concentration of sulfuric acid on the degree of transition of As(III) to As(V) was studied. Experiments were carried out with air blowing. Oxidation of As(III) in solutions, where dissolved oxygen was previously removed by blowing with an inert gas (argon), was also studied.

The oxidation process was carried out as follows: solutions of sulfuric acid and transition metal sulfates were introduced into a vessel with a NaAsO₂ solution, and the contents were stirred with a magnetic stirrer for a certain time. Air and argon were supplied into the solution under pressure while stirring.

To avoid the presence of atmospheric oxygen in the reaction zone, the experiments were carried out under sealed conditions with constant argon purging. Reagents for this purpose were preliminarily prepared in a box using transition metal salts that were twice recrystallized and dried in an argon

atmosphere.

Quantitative determination of As(III) was carried out by amperometric titration.

We discovered the fact of instantaneous oxidation of As(III) in small quantities (up to 10%) when various amounts of sulfuric acid are added to the working solution. In this case, the content of sulfuric acid does not change in all experiments, i.e. the oxidation of arsenic (III) occurs with the participation of dissolved oxygen, and the fact of the instantaneous transformation of part of As(III) into As(V) is due to the catalytic nature of the process. The ability of H₂SO₄ to increase the rate of “spontaneous” oxidation of arsenic in solutions is indicated by the author of the work [8].

The effect of catalytic oxidation of As(III) is observed in all experiments when introducing transition metal salts into an arsenic solution. Moreover, in As(III)-MeSO₄-H₂O systems the degree of conversion reaches 25%.

It should be noted that in the systems As(III)-H₂SO₄-MeSO₄-H₂O (where Me - Cu, Ni, Co, Mn, Zn), the amount of instantly oxidized arsenic increases, and no significant dependence on the nature of the salt (among those studied) is observed (Table 1). The degree of transition of As(III) to As(V) depends on the concentration of metal ions and reaches its maximum at a molar ratio of Me:As(III) above (6÷9):1. Based on data [9] on the solubility of oxygen in aqueous solutions, it was determined that about 60-80% of dissolved oxygen is involved in the process of catalytic oxidation of trivalent arsenic.

The duration of the process and temperature do not play a significant role. This is evidenced by the following experimental data: within 6 hours after instant oxidation, the transition of As(III) to As(V) in the As(III)-H₂SO₄-H₂O system was about 6-7%, and in a solution, for example, containing 0,1 gEq/l of copper sulfate, the degree of conversion at temperatures of 22⁰C, 40⁰C and 60⁰C was 34.5%, 34.8% and 36%, respectively. The results of experiments on the oxidation of As(III) in the presence of ions of other transition metals under study are relatively close to these data.

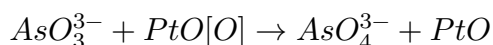
Table 1 - The degree of conversion of As(III) (%) in a sulfuric acid medium in the presence of transition metal ions and an adsorbing surface (Pt plate) when blown with air

$$(C^{NaAsO_2} = 0,011 \text{ gEq/l}, C^{H_2SO_4} = 0,12 \text{ gEq/l}, t = 60^{\circ}\text{C}, \tau = 3 \text{ hours})$$

Me	Concentration $C^{Me^{2+}} \cdot 10^{-2} \text{ gEq/l}$	Effect of catalytic oxidation, %	Oxidation state of As(III) in the presence of the ion Me^{2+} , %
-	-	4,21	29
Cu	4,8	21,4	51,9
	7,8	33,5	60,2
	9,8	33,8	60,1
Ni	4,8	32,9	49,4
	7,8	34,9	58,2
	9,8	34,9	57,7
Co	4,8	33,6	54,1
	7,8	31,7	58,6
	9,8	32,1	58,7
Mn	4,8	30	52,5
	7,8	30,8	55,3
	9,8	30	55
Zn	4,8	33,9	50,8
	7,8	34,8	55,2
	9,8	30,5	54,9

Our experiments have shown that blowing air through solutions has such a weak effect on the oxidation process in the systems under study that even for 3 or more hours, air bubbling both in the As(III)-H₂SO₄-H₂O system and in the system As(III)-H₂SO₄-MeSO₄-H₂O did not lead to significant oxidation of As(III). Varying the temperature in the range of 20-60°C did not have a significant effect on the progress of the process.

In experiments with air blowing, the oxidation process of As(III) can be intensified at the liquid-solid interface due to the sorption of oxygen on it. In addition, the interface is an integral element of the copper electrorefining process, which to some extent brings the experimental conditions closer to production ones. We tested the effect of a platinum plate immersed in the reaction zone on the oxidation of As(III). This metal has the ability to adsorb oxygen on its surface and oxidation on such a surface occurs with the participation of oxygen from platinum oxides [10], according to the scheme:



Initially, the As(III)-H₂SO₄-H₂O system was studied with air blowing in the presence of a Pt plate. At the same time, at the initial moment, the oxidation of As(III) is a fairly intense process, which slows down over time. Thus, at a temperature of 21°C in 2 hours the degree of conversion was 26,7%, and in the next 1,5 hours it increased by only 2%. Increasing the temperature of the working solution to 60°C allowed us to speed up the process. In this case, the same amount of As(III) - 26.7% transforms into As(V) in 0,5 hours, and subsequent oxidation takes a long time.

Another factor that had a significant impact on the oxidation of As(III) in the presence of a Pt plate was the introduction of transition metal ions (Cu, Ni, Co, Mn, Zn) into the working solution, the ability of which to reversibly bind and activate oxygen is well known [11]. The highest degree of transition of As(III) to As(V) was recorded

at a temperature of 60°C. Within 3 hours, the percentage of conversion of trivalent arsenic reaches 55-60%, where the effect of catalytic oxidation is about 30-35%. These results (Table 1) are further evidence of the participation of atmospheric oxygen in the process of catalytic oxidation of As(III) in the presence of some transition metal ions. The importance of iron, copper and zinc ions in the oxidation of arsenic was also confirmed in works [12-14].

Therefore, if the presence of oxygen in the reaction zone is eliminated, the oxidation of As(III) should be practically absent. For this purpose, we conducted experiments with preliminary blowing of argon through a NaAsO₂ solution and a sulfuric acid solution of MeSO₄ (where Me is Cu, Ni, Co, Mn, Zn) before mixing them. The experiments were carried out at a temperature of 60°C and constant bubbling with argon with stirring. Within 3 hours, we observed a slight decrease in the concentration of As(III), which was about 5%. In our opinion, the observed phenomenon is explained by the fact that blowing argon does not contribute to the complete removal of oxygen bound in the active complex. In our opinion, the activation of oxygen by transition metal ions occurs in the process of hydrolysis

of these ions and complex formation. Thus, in an aqueous solution of CuSO₄, hydrated ions [Cu(H₂O)₄]²⁺ are able to attach an oxygen molecule O₂ as a weak ligand, promoting its activation. Based on this, solutions of sulfuric acid and transition metal salts were prepared in an inert environment-box. Purge of trivalent arsenic solution with argon began 0,5 hour before mixing the solutions and was carried out throughout the experiment. Under the conditions of this experiment, the percentage of oxidation was 0,5% within 3 hours. Those. Despite a slight decrease in the degree of As(III) conversion under these conditions, we were not able to completely eliminate the presence of oxygen in the system.

The catalytic role of transition metal ions in the oxidation of arsenic is also evidenced by the results of our studies of the behavior of solid arsenic trioxide in sulfuric acid solutions in the presence of Cu²⁺, Ni²⁺, Co²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺ ions (Table 2). The dissolution of As₂O₃ in sulfuric acid solutions is a slow process with simultaneous oxidation of As³⁺ to As⁵⁺ in the liquid phase. As can be seen from Table 2, the influence of transition metal ions on the oxidation of solid arsenic trioxide is very significant. The degree of transition of As³⁺ to As⁵⁺ increases with increasing temperature of the reaction mixture.

Table 2 - Degree of conversion of As₂O₃ (%) in a sulfuric acid medium in the presence of transition metal ions (Me²⁺) ($m^{As_2O_3} = 0,30$ g, $C^{H_2SO_4} = 0,12$ gEq/l, $C_{Me^{2+}} = 0,10$ gEq/l, $V = 50$ ml, $\tau = 3$ hours) depending on the temperature when blowing air

Temperature, °C	Degree of As ₂ O ₃ conversion in the presence of Me ²⁺ , %					
	-	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Co ²⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺
20	0,04	14,9	13,6	14,1	13,5	12,8
40	0,084	26,4	23	24,9	24,8	21,1
60	0,12	58,2	54,9	56,4	56	52,1

Conclusions. Thus, the stage of the transition of arsenic from the trivalent to the pentavalent state occurs with the participation of atmospheric oxygen and occupies a central place in the process of anodic oxidation of elemental arsenic in sulfuric acid solutions in the presence of Cu²⁺, Ni²⁺, Co²⁺, Mn²⁺, Zn²⁺ ions, and the nature of the studied transition metal salts does not have a significant effect on the degree of As(III) conversion. This property of some transition metal ions to catalytically oxidize

As(III) was used by us later in the development of new methods for processing copper electrolyte with transition metal compounds with the removal of arsenic in the form of arsenates. In practice, preliminary introduction of transition metals into arsenic-containing solutions will allow the arsenic to be maximally converted into the pentavalent state, which will ensure their effective purification with the removal of arsenic in an environmentally safe form.

References

1. Tolstikov V. P. Vzaimozavisimost' okislitel'no-vosstanovitel'nyh processov i pH reakcionnoj sredy // Zhurnal obshhej himii. - 1969. -Vyp. 39, -№ 2. -S. 240-247. [in Russian]
2. Levin A.I., Nomberg M.I. Jelektroliticheskoe rafinirovaniye medi. – M.: Metallurgizdat, 1963. -219 s. [in Russian]
3. Bajmakov Ju. V., Zhurin A. I. Jelektroliz v gidrometallurgii. – M.: Metallurgija, 1977. -336 s. [in Russian]
4. Kuznecova T. A., Fedorov V.A. Jelektroliticheskoe rafinirovaniye medi s povyshennym sodержaniem Sb i As i vyvod ih iz jelektrolita // Metallurgija cvetnyh metallov. -1974.-№ 4. -S. 174-179. [in Russian]
5. Tret'jak M.A., Karimov K.A., Nabojchenko S.S. Avtoklavnoe okislenie ionov mysh'jaka (III) ionami zheleza (II), (III) // Sovremennye tehnologii proizvodstva cvetnyh metallov : materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvjashhennoj 80-letiju S. S. Nabojchenko, Ekaterinburg, 24–25 marta 2022 g. - Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2022. - S. 68-72. <http://elar.urfu.ru/handle/10995/110239>. [in Russian].
6. Efimov E. A., Erusalimchik I. G. Jelektrohimicheskie processy na mysh'jakovom jelektrode // Jelektrohimija. -1965. -Vyp. 1, -№ 9. -S. 1133- 1137. [in Russian]
7. Tomilov A. P., Osadchenko I. M., Homutov E. M. Jelektrohimija mysh'jaka i ego soedinenij. Itogi nauki i tehniki VINITI AN SSSR // Jelektrohimija. -1979. -№ 14. -S. 168-207. [in Russian]
8. Uil'jams U.Dzh. Opreделение anionov. -M.: Himija, Spravochnik. Per. s angl. — M.: Himija, 1982 — 624 s. [in Russian]
9. Rabinovich V.A., Havin Z.Ja. Kratkij himicheskij spravochnik. -Leningrad: Himija, 1978. -392 s. ISBN: 5-7245-0703-X. [in Russian]
10. Kasenov B.K., Aldabergenov M.K., Pashinkin A.S. Termodinamicheskie metody v himii i metallurgii. Almaty: Rauan, 1994. -126 s. ISBN 5-625-02445-6. [in Russian]
11. Basolo F., Pirson R. Mehanizmy neorganicheskikh reakcij. M.: Mir, 1971. -592 s. [in Russian]
12. Perelomov L.V., Perelomova I.V., Levkin N.D. i dr. Adsorbciya i okislenie soedinenij mysh'jaka mineralami zheleza i v bio-mineral'nyh sistemah // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki. -2012. -Vyp. 3. -S. 231-241. [in Russian]
13. K.Z. Song, P. C Ke, Z. Y. Liu et. al. Co-oxidation of arsenic (III) and iron (II) ions by pressurized oxygen in acidic solutions // Int. J. Miner. Metall. Mater. - 2020. - № 27. - P. 181-189. <https://dx.doi.org/10.1007/s12613-019-1786-9>
14. P. Zhang, C. Li, C. Wei et. al. Effects of zinc and copper ions on ferric arsenate precipitation in hydrothermal scorodite // J. Cent. South Univ. Sci. Technol. - 2019. - № 50. - P. 2645–2655.

Information about authors

Omarov K.B. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: homarov1963@mail.ru;

Nurtai Zh.T. - PhD, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru;

Nurgaliyev N.U. - Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan named after K.Kulazhanov, e-mail: nurgaliyev_ao@mail.ru;

Takirova A.K. - master's degree, senior lecturer, Kazakh University of Technology and Business named

after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: adem_1996@mail.ru

Сведения об авторах

Омаров Х.Б. - доктор технических наук, профессор, профессор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: homarov1963@mail.ru;

Нұртай Ж.Т. - доктор PhD, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана Казахстан, , e-mail: zhadira_nurtai@mail.ru;

Нургалиев Н.У. - кандидат химических наук, доцент, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Республика Казахстан, Астана, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Такирова А.Х. - магистр, старший преподаватель, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Республика Казахстан, Астана, e-mail: adem_1996@mail.ru

PROCESSING OF SOLID ARSENIC-CONTAINING MATERIALS

(analytical review)

¹N.I. Kopylov, ²Kh.B.Omarov✉¹Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry, Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia,² K.Kulazhanov named Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan

✉Correspondent-author: homarov1963@mail.ru

This article provides an analytical review of scientific and technical developments in the processing of solid arsenic-containing materials. Hydro-, pyrometallurgical and combined methods for extracting arsenic from dust, sublimates, and sludge from metallurgical production are considered. The most acceptable technologies seem to be those in which arsenic is removed from the process at the preliminary stage of processing in the most stable, non-toxic form - arsenic sulfides, which exist in nature as orpiment and realgar minerals. Studies conducted at the Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute (Karaganda, Republic of Kazakhstan) and the Gidrotsvetmet Institute (Novosibirsk, Russian Federation) on products from a number of arsenic-containing raw material deposits for the removal of arsenic by oxidizing-sulfidizing roasting in a shaft-type furnace have shown the promise of this technology. The removal of arsenic from roasting products was 97-98.5%, simultaneously with the production of compact sulfide material with an arsenic content of 60-70% that does not require special disposal.

Keywords: metallurgical production, arsenic-containing materials, leaching, oxidation-sulfiding roasting, acid, autoclave, bacterial oxidation, arsenates, oxides and sulfides of arsenic.

ҚҰРАМЫНДА МЫШЬЯК БАР ҚАТТЫ МАТЕРИАЛДАРДЫ ӨНДЕУ

(аналитикалық шолу)

¹Н.И. Копылов, ²Х.Б.Омаров✉¹Қатты денелер химиясы және механикохимия институты, Сібір бөлімшесі Ресей ғылым академиясы, Новосибирск, Ресей,² Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: homarov1963@mail.ru

Бұл мақалада мышьяк бар қатты материалдарды өндеудегі ғылыми-техникалық әзірлемелерге аналитикалық шолу берілген. Металлургиялық өндірістегі шандардан, сублиматтардан және шламдардан мышьяк алудың гидро-, пирометаллургиялық және аралас әдістері қарастырылған. Табиғатта аурипигмент және реальгар минералдары түрінде болатын мышьяк сульфидтері - мышьяк ең тұрақты, улы емес түрінде өндеудің алдын ала сатысында процестен шығарылатын технологиялар ең қолайлы болып табылады. Әбішев атындағы Химия-металлургия институтында (Қарағанды, Қазақстан Республикасы) және Гидроцветмет институтында (Новосибирск, Ресей Федерациясы) мышьяқты жою бойынша бірқатар кен орындарының өнімдеріне жүргізілген зерттеулер. шахталық пеште тотықтырғыш-сульфидтендіргіш күйдіру осы технологияның болашағын көрсетті. Қуырылған өнімдерден мышьяқты кетіру 97-98,5% құрады, арнайы көмуді қажет етпейтін мышьяк мөлшері 60-70% болатын ықшам сульфидті материалды алумен бір мезгілде.

Түйін сөздер: металлургиялық өндіріс, құрамында мышьяк бар материалдар, сілтілеу, тотықтырғыш-сульфидтендіргіш күйдіру, қышқыл, автоклав, бактериялық тотығу, арсенаттар, мышьяк оксидтері және сульфидтер.

ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ МЫШЬЯКСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

(аналитический обзор)

¹ Н.И. Копылов, ²Х.Б.Омаров✉

Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения

Российской Академии наук, Новосибирск, Россия,

Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан,

e-mail: homarov1963@mail.ru

В данной статье приведен аналитический обзор научно-технических работ по переработке твердых мышьяксодержащих материалов. Рассмотрены гидро-, пирометаллургические и комбинированные методы извлечения мышьяка из пылей, возгонов, шламов металлургического производства. Наиболее приемлемыми представляются технологии, по которым мышьяк на предварительной стадии передела выводится из процесса в наиболее устойчивой, нетоксичной форме – сульфидов мышьяка, существующих в природе в виде минералов аурипигмента и реальгара. Исследования, проведенные в Химико-металлургическом институте имени Ж.Абишева (г. Караганда, Республика Казахстан) и институте «Гидроцветмет» (г. Новосибирск, Российская Федерация) на продуктах целого ряда месторождений мышьяксодержащего сырья по выводу мышьяка окислительно-сульфидизирующим обжигом в печи шахтного типа, показали перспективность данной технологии. Вывод мышьяка из продуктов обжига составил 97-98,5 %, одновременно с получением компактного, не требующего специального захоронения сульфидного материала с содержанием мышьяка 60-70%.

Ключевые слова: металлургическое производство, мышьяксодержащие материалы, выщелачивание, окислительно-сульфидизирующий обжиг, кислотное, автоклавное, бактерияльное окисление, арсенаты, оксиды и сульфиды мышьяка.

Introduction. One of the problematic objects in the production of heavy non-ferrous metals is arsenic, which is present in various concentrations in ores and concentrates of non-ferrous and noble metals. During their processing, arsenic leads to various technological difficulties that worsen the quality of the base metal and other by-products. The process is accompanied by environmental pollution with arsenic, its accumulation in intermediate products, mandatory neutralization and storage of arsenic-containing materials.

Metallurgical arsenic-containing industrial objects are conventionally classified into four classes:

- natural raw materials, where arsenic phases

are represented by arsenopyrite, iron arsenides, thioarsenates and arsenides of non-ferrous metals;

- products of metallurgical oxidation processes, where the form of arsenic is arsenates, its oxides;

- products of reduction processes, where arsenic is elemental, arsenides;

- sulfur and phosphorus (chalcogenides) of technical grades, where arsenic is in the form of sulfides and monophosphide.

Products of arsenic purification of gases (dust, sublimes) and waste water (cakes, sediments) in addition to arsenic contain significant amounts of other valuable metals, as shown in Table 1.

The disposal of these materials is a complex technical problem and includes either their

comprehensive processing or safe disposal. The degree of arsenic sublimation is determined by the composition and temperature of the slag and matte, the temperature and composition of the exhaust gases, as well as the partial pressure of oxygen in the gas phase and a number of other factors [1, 2]. Most of the arsenic in the dusts is in the form of arsenates (70%), approximately 15% of the total content is oxides. The zinc and lead content reaches 9.7 and 36.8%, respectively.

During the processing of copper raw materials

and copper-containing semi-finished products of lead production, lead, arsenic and other metals are concentrated in converter dusts. Up to 90% of lead, more than 90% of arsenic, up to 95% of cadmium and more than 65% of rhenium and selenium from the amounts contained in the matte pass into them. Fine converter dusts contain, %: 42-50 lead, 0.3-0.7 cadmium, 15-28 arsenic, 0.3-0.5 bismuth, 0.2-1.0 selenium and 30-70 g / t rhenium. The transfer of these dusts to lead production is one of the main factors in the intra- and inter-plant circulation of arsenic.

Table 1-Chemical composition of dust and sublimates from metallurgical production, %

Arsenic containing materials	As	Sn	Pb	Zn	Cu	Fe	S
Fuming sublimates of tin production	7,4	40,8	13,8	4,1	0,05	0,5	3,7
1.	1,6	13,2	11,7	47,8	0,17	-	4,5
2.	2,4	66,2	0,4	2,7	0,03	-	0,8
3.							
Fuming sublimates of lead-zinc production	0,92	-	12,2	58,6	0,75	0,6	1,4
Dust from electric smelting of tin raw materials	1,1	27,6	1,2	28,4	0,03	-	1,1
Polymetallic raw material electric smelting dust	2,7	12,6	14,5	34,6	0,13	-	5
Electric smelting dust from tin refining	1,5	34,2	0,2	0,8	0,16	-	0,4
Electric smelting dust from refining of Pb-Sn alloys	2,6	18,5	27,4	6,9	1,5	0,4	2,5
Dust from agglomeration and shaft smelting of lead concentrates	5,1	-	54,8	11,8	0,22	-	-
Dust from roasting zinc concentrates	2,1	-	31,7	14	0,74	2,1	13,6
Dust from the smelting of copper sulphide concentrates	1	-	8,3	7	13	5,4	28,5
Copper production converter dust	5,9	-	32,2	18,9	3,3	-	-

Copper-containing cakes are mainly added to the smelting furnace charge. This is the simplest and least expensive method, but it seems the least rational, since arsenic is returned to the copper smelting production, accumulates in the electrolyte, thereby worsening the indicators and ecology of the process.

The variety of methods for processing arsenic-containing dusts, sublimates, and sludge from metallurgical production can be conditionally

divided into hydro-, pyrometallurgical, and combined methods.

Hydrometallurgical methods. A large set of reagents has been proposed for extracting arsenic from dusts and sublimates: sulfuric, hydrochloric and nitric acids, solutions of sodium and ammonium carbonates, caustic soda, sodium sulfide and others. However, most of them are not selective: heavy non-ferrous metals also pass into the solution, which complicates their subsequent processing [1].

Nevertheless, there are developments that meet the conditions of selectivity.

For example, in work [2], arsenic from arsenic-containing materials was transferred into a solution with sodium hydroxide or sulfide. Experiments have shown that under optimal conditions, the degree of arsenic extraction into the solution in both cases reaches 95-98%. In the case of materials containing arsenic in the form of oxides, good results are achieved using hot water leaching. Extraction from tin production roasting furnace dust (44% As_2O_3) into solution is 93% As. Satisfactory selectivity of arsenic extraction (88-93%) is achieved by leaching converter dust from lead production with sodium sulfide solutions (concentration 80-100 g/dm^3 , 90-95 $^\circ\text{C}$, L:S = 6:1, 1 h). With three-stage leaching, arsenic extraction reaches 99%.

Selective extraction of arsenic into an alkaline solution can be achieved by electrolytic leaching of dusts. Optimum process conditions: $C_{\text{NaOH}} = 90-100 \text{ g/dm}^3$, L:S = (3-4):1.5, 50-75 $^\circ\text{C}$, $D_k = 1000-3000 \text{ A/cm}^2$. Lead is released at the cathode in the form of a spongy sediment. To bind and precipitate lead and zinc from the solution during leaching of arsenic with strong hot solutions of caustic soda (100-250 g/dm^3), an additional 10-20 g/dm^3 of sodium sulfide is added to the alkaline solution [3].

It is proposed to leach copper smelting converter dusts with 1.3-5.0% As and high contents of non-ferrous metals with sodium sulfide and precipitate arsenic with various reagents, such as calcium oxide, copper or iron sulfate, a mixture of phosphoric acid with calcium hydroxide [4-6]. The scheme provides for the possibility of further processing of sediments to obtain antiseptics for wood preservation or their safe storage. When processing converter dusts with sodium sulfide solutions (80 $\text{g/dm}^3 \text{ Na}_2\text{S}$, 90 $^\circ\text{C}$, L:S = 1:6), 92.9% of arsenic was extracted into the solution in the form of thiosalt after 1 hour. With three-stage leaching - up to 99%.

For selective and deep (92-96%) extraction of arsenic from tin production fuming sublimes, alkaline leaching at a NaOH concentration of 100-150 g/dm^3 , L:S = 1:5-10, 80-100 $^\circ\text{C}$, duration of 1-2 h, stoichiometric Na_2S consumption for binding lead and zinc into sulfides is proposed.

The most common method for extracting arsenic from copper-containing cakes is the alkaline leaching scheme and subsequent precipitation of calcium arsenate. The cake is treated with an alkali solution (70-90 $\text{g/dm}^3 \text{ NaOH}$) at 70-90 $^\circ\text{C}$, a solid:liquid ratio of 5, and a time of 1-3 hours. Extraction into the solution is 90-98% As and no more than 1.0-1.5% Cu. The copper-containing residue can be returned to the batch preparation department of the smelting shop. By introducing lime pulp (with a CaO:As ratio > 1.5) into the solution at 80-90 $^\circ\text{C}$ in 1.5-3 hours, it is possible to precipitate a product containing 90-96% As. This achieves alkali regeneration, and the filtrate is returned to the alkaline leaching stage. As a result, more than 90-92% of arsenic passes into the burial product, and the alkali consumption, taking into account regeneration, is 0.05 kg/kg As.

To extract copper and arsenic from copper electrolyte production middlings, copper-arsenic cake is leached at a mass ratio of $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{Cu} = (1.53-1.54):1$. The leaching solution is cooled to 20-80 $^\circ\text{C}$, the copper-containing product is isolated, which is returned to the main production. The mother liquor is evaporated to an As concentration of 600-800 g/dm^3 and used to prepare antiseptic compositions.

Complex processing of lead production dust is complicated by its high content of harmful impurities. The method of granulation with strong sulfuric acid and subsequent heat treatment of the resulting granules in a FB (fluidized bed) furnace allows removing up to 80-85% of arsenic in the "head" of the process and then extracting valuable components from the resulting product [7]. Sublimates are captured in a wet gas cleaning system, where the arsenic content in the solution reaches 20-30 g/dm^3 , and in the sludge up to 40%. The sludge is leached and arsenic is precipitated from the combined solution with lime milk in the form of calcium arsenate (10-12% As).

There are developments of autoclave technologies for extracting arsenic from dusts from processing copper and lead concentrates. Depending on the composition of the dusts, solutions of sulfuric, nitric or hydrochloric acids and a number of other reagents are used for their leaching and removal of arsenic.

The process of arsenic dissolution in an alkaline solution can be combined with the electrolytic extraction of heavy non-ferrous metals on the cathode. In this case, alkali regeneration occurs, due to which the equilibrium in the system shifts towards arsenic dissolution. Alkaline-electrolytic treatment of converter dust ensures almost complete extraction of arsenic (96-98%) into the solution and lead (91%) into the cathode sponge. Zinc, cadmium, mercury, tellurium are concentrated in an insoluble precipitate. In this case, there is a risk of arsine formation. To prevent this during electrolysis, the original dust is pre-treated with a 4% NaOH solution. The alkaline solution containing arsenic is fortified with alkali to 120 g/dm³, cooled to 18-20 °C and, after separating the sodium arsenate crystals, sent for leaching of a new portion of dust. Sodium arsenate is dissolved in water at 60-70 °C and calcium arsenate is precipitated from the resulting solution (50-60 g/dm³ As) with lime milk, which is sent for disposal [3].

Pyrometallurgical and combined methods. At non-ferrous metallurgy plants, up to 30% of arsenic is concentrated in dust and sublimes [8, 9].

When processing sulfide copper concentrates with a low arsenic content (up to 1%) in order to obtain arsenic-free gases during smelting, it was proposed [10] to roast the concentrate at 750 °C in a mixture with calcium hydroxide in an amount from 1.5 to 3 times greater than the stoichiometric amount required to bind arsenic into calcium arsenate. During subsequent smelting, the resulting calcium arsenate is converted into waste slag.

For relatively arsenic-rich materials (>5% As) that do not contain other subliming components, the main part of the arsenic (80-90%) can be distilled off in the form of sublimes containing up to 90-98% As₂O₃ by firing at 550-700 °C in multiple-hearth, muffle or other furnaces. In order to prevent the formation of higher arsenic oxides and accelerate the distillation, up to 10% of fine coal and a sulfidizer (pyrite) are added to the batch [11]. Metallurgical sublimes and dusts are subjected to various types of smelting with concentration of valuable metals (lead, zinc and others) in the melt, and arsenic - in sublimes or in melts of

rough alloy, mattes, slags. Sodium hydroxide, soda, sodium sulfate, their mixtures are used as slag- and matte-forming fluxing components. The process is carried out in a controlled environment with the introduction of coke into the charge.

When smelting dusts using only sodium sulfate (22-30% of the dust mass), 75% of the arsenic passes into the matte-slag melt and 23% into the crude lead. 93% of the lead is concentrated in the lead melt. When using a mixture of sodium sulfate and soda (40-45% of the mixture in the charge), the arsenic is concentrated in the matte-slag melt, and with an excess of soda (about 60%), 75-80% of the arsenic passes into the crude lead and only 20% into the matte-slag melt. The extraction of lead into the melt, containing 9.3% As, was 93-94% of the content in the original dust. As a result, arsenic can be concentrated in either the crude lead or the matte-slag melt during the smelting process, if necessary. Black lead with a high arsenic content can be suitable for special alloys for various purposes (high-capacity batteries, bearings, etc.). Arsenic is leached from the stein-slag melt with water and then precipitated with lime.

Systematic research and technological developments on the removal of arsenic from metallurgical processes in the form of a non-toxic, storable product – sulfide – were carried out at the Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute (Karaganda) [12-16]. A method was developed for obtaining arsenic sulfide sublimes from sulfide materials by roasting them at 650-700 °C in a mixture with pyrite in a ratio of arsenic to arsenic in the charge equal to (1.8-2):1, followed by melting the powdered sublimes and obtaining a compact alloy that is not oxidized in air and insoluble in water. Methods have also been proposed for converting arsenic dust into sulfide by sulfiding it with elemental sulfur at a temperature of 325-350 °C, followed by obtaining sublimes by roasting at 700-800 °C, as well as elemental sulfur at 325-350 °C and then leaching with a solution of sodium sulfide at a ratio of the latter to arsenic (3.4-3.5):1. The resulting arsenic sulfide is precipitated from the solution with sulfuric acid at pH = 2.

Work on the removal of arsenic into a poorly

soluble form during the processing of refractory gold-arsenic ores and concentrates deserves special attention. Until recently, about 75% of gold in Russia was mined from placers and 25% from ore raw materials. At the same time, in the near future, 75% of the predicted resources and 53% of the reserves of Russian gold are concentrated in ore raw materials. At the same time, gold mining in foreign countries has long been carried out mainly at

the expense of raw materials from primary deposits [17]. It follows that the development strategy of this sub-sector will be entirely determined by the processing of ore raw materials, a significant part of which is refractory, difficult to process arsenic-containing ores. The compositions of concentrates from some deposits in Russia and the CIS are given in Table 2.

Table 2. Chemical composition of some gold-arsenic concentrates of Russia and the CIS, %

Deposit	Au, g/t	Ag, g/t	As	Fe	S	C	Sb
Zodskoe	55,4	42,5	2,08	27,09	26,15	Not found	Not found
Kokpatasskoe	32,4	7,4	9,96	26,6	24,1	4,3-11,0	Not found
Bakyrchikskoe	10,8-34	15,4	5,7-9,6	10,0-13,8	10-17,8	7,6-19,2	Not found
Nezhdaninskoe	21-150	120-1300	4,8-5,6	14,7-19,2	15-19,5	1,8-7,7	0,1
Olimpiadinskoe	49-63,1	4	3,73	21,98	14,5-20,7	0,4-5,6	0,1
Majskoe	68,8	9,9	5,7	19,8	18,3	2,9	1,4
Kjuchusskoe	36,5	9,8	4,6	10,1	5,56	1,38	Not found
Zarmitan	35	239	16,4	30,17	29,47	0.15	Not found

This type of raw material, in which some of the gold, as studies have shown, is directly included in the crystal lattice of matrix minerals (arsenopyrite, pyrite), cannot be processed by traditional methods. Without preliminary opening of the minerals of the matrix base of concentrates, gold extraction is possible only in the range from 10-15 % to 60-70%, depending on the specific composition of the raw material [18]. At gold recovery plants, during the processing of such ore using the technology of converting arsenopyrite into tailings, all the bound gold goes into them, and when it is preserved in the concentrate, arsenic remains in it and enters the technological process. It pollutes the industrial products and must be removed from the process.

In order to open up the material for further gold extraction and to remove arsenic from the process, oxidative roasting is widely used using various types of furnace units and technologies: roasting in multi-hearth, rotary drum furnaces, roasting in a fluidized bed, and others.

Other methods of opening refractory ores and concentrates were also tested and mastered, where

oxidation of arsenopyrite and pyrite was carried out by acid, autoclave, bacterial oxidation, chlorinating roasting. The use of nitric acid as an oxidizer in acid opening of refractory gold-arsenic raw materials allows removing arsenic and iron in scorodite, which is poorly soluble in water. Carbon-containing arsenopyrite concentrates, rich in silver and gold, are proposed to be treated with sulfuric acid. In this case, arsenic and iron completely pass into solution, and precious metals remain in the silicate residue and are extracted as a free impurity (with a size of at least 50 µg) by cyanidation.

To intensify the process of acid opening and more complete extraction of precious metals from refractory sulfide-arsenide concentrates, it is proposed to carry out the process of hydrothermal decomposition in autoclaves ($T = 120-225\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P > 3.5\text{ atm}$) [19, 20] using oxygen as an additional oxidizer. Sulfuric, nitric, hydrochloric acids, as well as chlorine-containing compounds, such as CaCl_2 , are used as an acid agent.

Biological methods of decomposition and opening of sulphide and sulphoarsenide

concentrates of heavy non-ferrous and precious metals belonging to the refractory group have been developed [3, 17]. This was preceded by many years of research on obtaining the necessary strains of bioculture and developing schemes and modes of the technology of bacterial opening of raw materials. The technology of bacterial opening has begun to be mastered in a number of gold mining countries: South Africa, the USA, Canada, Australia, and in Russia by the Polyus company at the Olimpiadinskoye and Nezhdaninskoye deposits.

A common disadvantage of all the above methods, as well as in non-ferrous metallurgy in general, is the unsolved environmental problem. During oxidative roasting, arsenic is distilled off in the form of trioxide (hazard class 1) with its subsequent conversion to calcium arsenate (hazard class 2). During acid, autoclave methods of opening and bioleaching, arsenic is converted into the form of calcium-iron salts of the scorodite type (hazard class 3). Thus, during bioleaching, the resulting sediments intended for storage in dumps contain from 8 to 23 % As in the form of complex salts related to the sulfoscorodite type. However, the possibility of interaction of these compounds with the environment and migration of arsenic in the hypergenesis zone with high dispersion of the dump material and changes in external storage conditions has been established. In order to prevent the environment from being contaminated with arsenic from drainage solutions, as well as from infiltration waters during floods and other natural disasters, it is necessary to carry out burial in special storage facilities or burial grounds, the construction of which requires significant expenditures and the alienation of large areas of land [21-23].

Therefore, work is being carried out [24] aimed at increasing the stability of arsenic sulfide compounds. Arsenic sulfides obtained during dearsenizing roasting are, in the main, a finely dispersed material with a developed surface, which

facilitates oxidation and leaching upon contact with the external environment. Methods have been developed for rendering harmless such sublimates by melting them into compact blocks or pressing them into briquettes with subsequent coating with sulfur or bitumen. These measures allow them to be stored in hazard class 3-4 in ordinary warehouses and abandoned mines.

Conclusion. Despite the large number of developments, none of the alternative technologies to oxidative roasting has surpassed it in terms of its level of use. For all these technologies, a number of key problems remain unresolved: the complexity of the equipment, machinery and process flow charts used; the toxicity of the resulting waste, the need for expensive disposal and constant environmental monitoring of the technical condition of temporary dumps and burial grounds and their impact on the environment.

The most acceptable technologies seem to be those in which arsenic is removed from the process at the preliminary stage of processing in the most stable, non-toxic form - arsenic sulfides, which exist in nature as orpiment and realgar minerals. Research conducted at the Zh. Abishev Chemical and Metallurgical Institute (Karaganda, Republic of Kazakhstan) and the Gidrosvetmet Institute (Novosibirsk, Russian Federation) on products from a number of arsenic-containing raw material deposits on the removal of arsenic by oxidizing-sulfidizing roasting in a shaft-type furnace showed the prospects of this technology. The removal of arsenic from the roasting products was 97-98.5 %, simultaneously with the production of a compact sulfide material with an arsenic content of 60-70% that does not require special disposal. In the cinder, which after roasting can be processed either by the traditional method or by smelting into a collector, the residual concentration of arsenic is less than 0.15-0.20 %.

References

1. Morales A., Cruells M., Roca A., Bergo R. Treatment of copper flash smelter flue dusts for copper and zinc extraction and arsenic stabilization. *Hydrometallurgy*. 2010. Vol. 105. P. 148-154.

DOI:10.1016/j.hydromet.2010.09.001

2. Okanigbe Do, Popoola Api, Adeleke A.A. Characterisation of copper smelter dust for copper recovery. *ProcediaManufact.* 2017. Vol. 7. P. 121-126. DOI:10.1016/j.promfg.2016.12.032
3. Naboichenko S.S., Mamjachikov S.V., Karelov S.V. *Mysh'jak v cvetnoj metallurgii.* Ekaterinburg: UrO RAN, 2004. 240 s. ISBN 5-7691-1486-X [in Russian]
4. Mamjachenkov S.V., Sergeev V.A., Sergeeva Ju.F. *Sovremennye sposoby pererabotki pylej medeplavil'nyh predpriyatij.* Butlerovskie soobshhenija. 2012. T. 30. № 5. S. 1-19. [in Russian]
5. Sergeeva Ju.F. *Kompleksnaja pererabotka tonkih pylej medeplavil'nogo proizvodstva OAO «SUMZ».* Avtoref. dis. kand. tehniceskikh nauk. 2013. Ekaterinburg. 23 s. [in Russian]
6. Omarov Kh.B., Absat Z.B., Aldabergenova S.K., Rahimzhanova N.Zh., Muzapparov A.A. *Issledovanie processa osazhdenija mysh'jaka iz mednogo jelektrolita psevdobrukitem.* *Izvestija vuzov. Cvetnaja metallurgija.* 2017. Vyp 6. S. 11-19. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2017-6-11-19 [in Russian]
7. Mamyachenkov S.V., Khanzhin N.A., Anisimova O.S., Karimov K.A. *Extraction of non-ferrous metals and arsenic from fine dusts of copper smelter production by combined technology.* *Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy.* 2021;27(5):25-37. DOI:10.17073/0021-3438-2021-5-25-37
8. Moskalyk RR, Alfantazi AM. *Review of copper pyrometallurgical practice: today and tomorrow.* *Miner Eng.* 2003; 16:893–919. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2003.08.002>
9. Dosmukhamedov N, Kaplan V. *Efficient removal of arsenic and antimony during blast furnace smelting of lead-containing materials.* *JOM.* 2017; V 6. P. 381-387. DOI:10.1007/s11837-016-2152-2
10. Novikov D.O. *Fiziko-himicheskoe obosnovanie utilizacii mysh'jakovistykh kekov medno-cinkovogo proizvodstva.* Avtoref. dis. kand. tehniceskikh nauk. 2022. Ekaterinburg. 25 s. [in Russian].
11. Mihalina E.O. *Issledovanie povedeniya mysh'jaka, sodержashhegosja v tehnogennom i prirodnom syr'e chernoj metallurgii s cel'ju ocenki vozdejstviya na okruzhajushhuju sredu.* Avtoref. dis. kand. tehniceskikh nauk. 2023. Moskva. 31 s. [in Russian]
12. Isabaev S.M. *Nauchnye osnovy utilizacii mysh'jakovistykh tehnogennykh othodov / S.M. Isabaev, H. Kuzgibekova, T.A. Zikanova, E.V. Zhinova. // Trudy mezhdunarodnogo kongressa «Fundamental'nye osnovy tehnologij pererabotki i utilizacii tehnogennykh othodov».* 2012. – Ekaterinburg: OOO «UIPC». 2012 - S. 72-76. ISBN 978-5-4430-0004-6 [in Russian]
13. Isabaev S.M., Kuzgibekova H. i drugie. *Kompleksnaja gidrometallurgicheskaja pererabotka svincovykh mysh'jaksoderzhashhih pylej mednogo proizvodstva.* *Cvetnye metally.* 2017. № 8 (896). S. 33-38. [in Russian]
14. Isabaev S.M. i drugie. *Issledovanie povedeniya soedinenij mysh'jaka v razlichnykh sredah. // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal.* 2013. № 8 (15). S. 22-24. URL: <https://research-journal.org/archive/8-15-2013-august/issledovanie-povedeniya-soedinenij-myshyaka-v-razlichnyx-sredax> [in Russian]
15. Isabaev S.M., Pashinkin A.S., Mil'ke Je.G., Zhambekov M.I. *Fiziko-himicheskie osnovy sul'fidirovaniya mysh'jaksoderzhashhih soedinenij.* Alma-Ata: Nauka. 1986. 183 s. [in Russian]
16. Isabaev S.M. *Sul'fidirovanie mysh'jaksoderzhashhih soedinenij i razrabotka sposobov vyvoda mysh'jaka iz koncentratov i promproduktov cvetnoj metallurgii:* Avtoref. dis. doktora tehniceskikh nauk. Irkutsk: ITI. 1991. 39 s. [in Russian]
17. Sedel'nikova G. V., Savari E. E. i drugie. *Izвлечение zolota iz upornykh vysokosul'fidnykh koncentratov s primeneniem biogidrometallurgii.* *Cvetnye metally.* 2012. № 4. S. 31-36. [in Russian]

-
18. Kopylov N.I., Kaminskij Ju.D. Mysh'jak. Novosibirsk: Sib. univer. izd-vo, 2004. 387s. ISBN 5-94087-155-0 [in Russian]
19. Rusalev R.Je. Gidrometallurgicheskaja tehnologija pererabotki Au-Sb sul'fidnyh koncentratov Olimpiadinskogo mestorozhdenija. Dissert. kand. tehniceskikh nauk. 2021. Ekaterinburg. 105 s. [in Russian]
20. Rahmanov O.B., Aksenov A.V. i drugie. Pererabotka upornogo zolotosoderzhashhego mysh'jakovistogo koncentrata mestorozhdenija «Ikkizhelon» s ispol'zovaniem avtoklavnogo okislenija. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. 2018. T.22. № 8.S. 162-172. [in Russian]
21. Choong S.Y., Chuah T.G., Robiah Y., Gregory Koay F.L., Azni I. Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview. Desalination. Volume 217, Issues 1–3.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.015>
22. Leist M., Casey R.J., Caridi D. The management of arsenic wastes: problems and prospects. Journal of Hazardous Materials , 28 August 2000, Pages 125-138. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00188-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00188-6)
23. Omarov Kh.B. Mysh'jaksoderzhashhie othody: analiz, reshenie problem i perspektivy prakticheskogo ispol'zovanija. Vestnik KarGU. Serija Himija. 2011. №1(61). S.69-63. [in Russian]
24. Zhurinov M., Zhumashev K. Netradicionnye metody vyvoda sery i mysh'jaka iz metallurgicheskogo syr'ja. Saarbrucken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 110 s. ISBN 978-3-659-69481-3

Information about authors

Kopylov N.I. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Novosibirsk, e-mail: kopylov@narod.ru;

Omarov K.B. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Republic of Kazakhstan, Astana, e-mail: homarov1963@mail.ru

Сведения об авторах

Копылов Н.И.-доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской Академии наук, Россия, г. Новосибирск, e-mail: kopylov@narod.ru;

Омаров Х.Б. - доктор технических наук, профессор, Казахского университета технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Республика Казахстан, Астана, e-mail: homarov1963@mail.ru

МРНТИ 61.71.29

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ НЕФТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЗЕНЬ**^{1,2}Е.М. Сүлеймен**¹Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан,²ТОО «КМГ Инжиниринг», Астана, Казахстан

✉ Корреспондент-автор: Syerlan75@yandex.kz

Методом хромато-масс-спектрометрии исследован компонентный состав нефти месторождения Узень. Для анализа использовали нефть, отобранную на центральном пункте подготовки нефти, а также ее фракцию до 60 °С, полученную при простой перегонке исходной нефти. Установлено, что кроме традиционных основных компонентов нефти, в ней присутствует большое содержание ценных ненасыщенных карбоновых кислот и их сложных эфиров. В составе исследуемой нефти и ее фракции до 60 °С присутствует большое количество метиловых эфиров Z,Z-9,12-октадекадиеновой (7.04 и 1.33 массовых %) и Z-6-октадеценовой кислот (1.33 и 0.68 массовых %) соответственно. Данные вещества являются основой для производства асидола и мылонафта. Также эти кислоты являются основой для биологически активных добавок – относятся к ω -кислотам. Составлена таблица ценных компонентов нефти и представлены цена на некоторых из них.

Ключевые слова: нефть, компонентный состав, месторождение Узень, хромато-масс-спектрометрия, асидол, мылонафт, петроселиновая кислота.

ӨЗЕН КЕН ОРНЫНДАҒЫ МҰНАЙНЫҢ ӘДЕТТЕН ТЫС ҚҰРАМЫ ТУРАЛЫ**^{1,2}Е.М. Сүлеймен**¹Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,²«KMG Engineering» ЖШС, Астана, Қазақстан,

e-mail: Syerlan75@yandex.kz

Өзен кен орнындағы мұнайдың компоненттік құрамы газды хроматография-масс-спектрометрия әдісімен зерттелген. Талдау үшін біз 2020 жылдың 26 ақпанында орталық май тазарту станциясында сынама алынған майды, сондай-ақ оның бастапқы майын қарапайым дистилляциялау нәтижесінде алынған 60 °С дейінгі фракциясын қолдандық. Мұнайдың дәстүрлі негізгі компоненттерінен басқа құрамында құнды қанықпаған карбон қышқылдары мен олардың эфирлерінің көп мөлшері бар екендігі анықталды. Зерттелген мұнайдың құрамы мен оның 60 °С дейінгі фракциясы құрамында Z,Z-9,12-октадекадиен (массасылық % 7,04 және 1,33%) және Z-6-октадецен қышқылдарының сәйкесінше (массалық % 1,33 және 0,68) метил эфирлерінің мөлшері бар. Бұл заттар асидол мен мылонафт шығарудың негізі болып табылады. Сондай-ақ, бұл қышқылдар тағамдық қоспалардың негізі болып табылады - олар ω -қышқылдарға жатады. Мұнайдың бағалы компоненттерінің кестесі жасалды және олардың кейбіреулеріне бағалар ұсынылды.

Түйін сөздер: мұнай, құрамы, Өзен кен орны, газ хроматография-масс-спектрометриясы, асидол, милонафт, петроселин қышқылы.

ABOUT THE UNUSUAL OIL COMPOSITION OF THE UZEN FIELD

The compositional composition of oil from the Uzen field has been studied by gas chromatography-mass spectrometry. For the analysis, we used the oil sampled at the central oil treatment station on February 26, 2020, as well as its fraction up to 60 °C, obtained by simple distillation of the original oil. It was found that in addition to the traditional main components of oil, it contains a high content of valuable unsaturated carboxylic acids and their esters. The composition of the studied oil and its fraction up to 60 °C contains a large amount of methyl esters of Z, Z-9,12-octadecadienoic (7.04 and 1.33 mass%) and Z-6-octadecenoic acids (1.33 and 0.68 mass%), respectively. These substances are the basis for the production of acidol and mylonaft. Also, these acids are the basis for dietary supplements - they belong to ω -acids. A table of valuable oil components has been compiled and the price of some of them is presented.

Keywords: oil, composition, Uzen field, gas chromatography-mass spectrometry, asidol, mylonaft, petroselinic acid.

Введение. Сжигать нефть – одно и то же, что сжигать ассигнации», говорил известный ученый Д.И. Менделеев. Одними из ценных веществ, находящихся в составе нефти, являются нафтеновые кислоты. Из данных кислот производят в промышленном масштабе, пластификаторы бетонов, ценные лекарственные вещества, смазочные материалы, сырье для моющих материалов, такие как асидол и мылонафт, и многое другое [1]. Следует отметить, до недавнего времени считалось, что наиболее богатые нафтеновыми кислотами, являются бакинские нефти, в которых содержание достигает 1-2% [2].

АО «Озенмунайгаз» - 100-процентная дочерняя компания АО НК «КазМунайГаз». В 2020 году предприятие занимало 6% в структуре добычи нефти и газоконденсата в Казахстане. Предприятие занимается добычей нефти и газоконденсата на месторождениях Узень и Карамандыбас в Мангистауской области.

Месторождение Узень – одно из крупнейших месторождений с уникальными начальными геологическими запасами не только в Республике Казахстан, но и во всем мире. Это многопластовое месторождение со сложным строением, залежи нефти и газа, которых сосредоточены в терригенном разрезе юрско-меловых отложений.

На месторождении Узень в Мангистауской об-

ласти путем доразведки в 2022 году обнаружены новые залежи нефти. В результате прирост извлекаемых запасов нефти составил 39,9 млн тонн [3].

В связи с этим проявляется и интерес к компонентному составу нефти данного месторождения.

В литературе мы не обнаружили данные по компонентному составу нефти месторождения Узень.

С другой стороны ранее использованные методы по определению компонентного состава, такие как перегонка и газовая хроматография, были трудоемки и менее достоверны по сравнению с таким новым методом, таким как хромато-масс-спектрометрия.

Целью настоящей работы является исследование компонентного состава нефти месторождения Узень и применимость ее в различных сферах применения.

Для исследования компонентного состава использовали метод хромато-масс-спектрометрии.

Материалы и методы. Для анализа использовали обшую нефть, а также полученную разгонкой при атмосферном давлении на бане с вазелиновым маслом. В этом случае отбирали фракцию до 60 °C. Объем нефти, взятой для перегонки 100 мл и получили фракцию нефти до 60 °C массой 7 мл. Таким образом выход фракции нефти, по-

лученной перегонкой до 60 °С, составил 7% (по объему) (рисунок 1). Нефть и фракцию нефти до 60 °С, предназначенные для анализа, растворяли в гексане.

Определение компонентного состава нефти и фракции нефти, полученной перегонкой до 60 °С, проводили на газовом хроматографе Clarus-SQ 8 с масс-спектрометрическим детектором. Хроматографические условия: колонка капиллярная RestekRxi®-1 ms 0,25 мм x 30 м x 0,25 мкм; объем пробы: 1,0 мкл; газ-носитель: He; скорость газа-носителя: 1 мл/мин; деление потока 1:25; t колонки: 45 °С (2 мин), подъем 1,5 °С/мин

до 200 °С, далее 15 °С/мин до 280 °С, изотермический режим при 280°С в течение 10 мин; t испарителя – 280 °С, масс-спектрометрический детектор: t – 240 °С, EI+ = 70 eV; время сканирования с 4 по 120 мин; режим сканирования ионов: 39–500 m/z. Процентное содержание компонентов вычисляли автоматически, исходя из площадей пиков общей хроматограммы ионов. Компоненты идентифицировали по масс-спектрам и временам удерживания, с использованием библиотеки NIST. Время удерживания компонентов пересчитывали относительно предельных углеводородов (рисунок 2).



Рис.1 - Перегонка нефти под атмосферным давлением



Рис.2 - Анализ нефти и фракции нефти до 60 °С методом хромато-масс-спектрометрии

Результаты и обсуждение. Как видно из рисунков 3-4 и таблицы 1, состав нефти представлен следующими основными компонентами (представлены основные 5 компонентов или выше 3%):

1. В нефти: нонан 15,78%, (Z,Z)-9,12-октадекадиеновой кислоты метиловый эфир - 7,04%, октадекан - 3,96%, (Z)-6-октадекановой кислоты метиловый эфир - 2,82% и пентадекан - 2,70%. В нефти нормальные углеводороды составляют 70% от общего количества компонентов, циклические – 12%, далее кислоты – до 11% и незначительное содержание ароматических уг-

леводородов – 1%. 3% составляют неидентифицированные компоненты (часть из них, возможно, стерины).

2. Во фракции нефти, полученной перегонкой до 60 °С: октан - 18,67%, толуол- 12,74%, 1,3-диметилциклогексан - 7,53%, нонан - 6,50%, 3-метилгептан - 5,72%, 1,3-диметилбензол - 4,19% и 1,4-диметилциклогексан - 3,03%. В этой фракции нормальные углеводороды составляют 42% от общего количества компонентов, циклические – 38%, далее ароматические углеводороды – до 17% и незначительное содержание кислот (2%) и ненасыщенных соединений (0,5%).

Как видно из таблицы, нами же методом хромато-масс-спектрометрии изучен состав нефти Узеньского месторождения и установлено, что в составе содержатся метилированные производные нафтеновых кислот до 11%, причем 3% - омега-12 карбоновая кислота. Именно весьма ценным и перспективным в исследуемой нефти является присутствие омега-12 карбоновой кислоты - петроселиновой кислоты, которые обнару-

жены нами в необычном компонентном составе нефти месторождения Узень.

В литературе нами не обнаружены данные по детальному компонентному составу нефти Узеньского месторождения методом хромато-масс-спектрометрии. В публикациях представлен лишь общее содержание групповых фракций: углеводороды, ароматические соединения и т.д. [4-5].

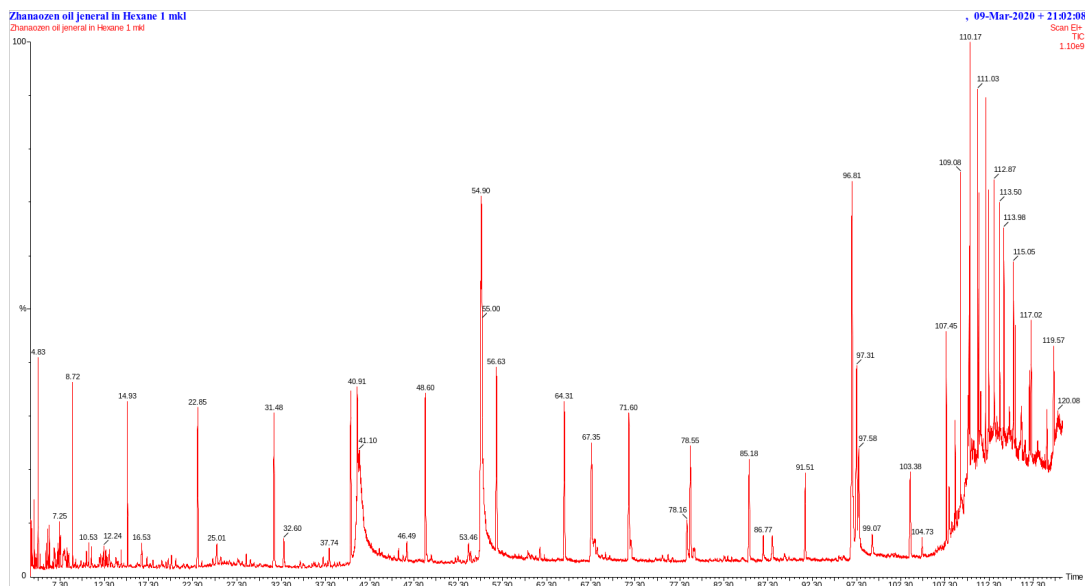


Рис. 3 - Хроматограмма компонентного состава нефти без разгонки

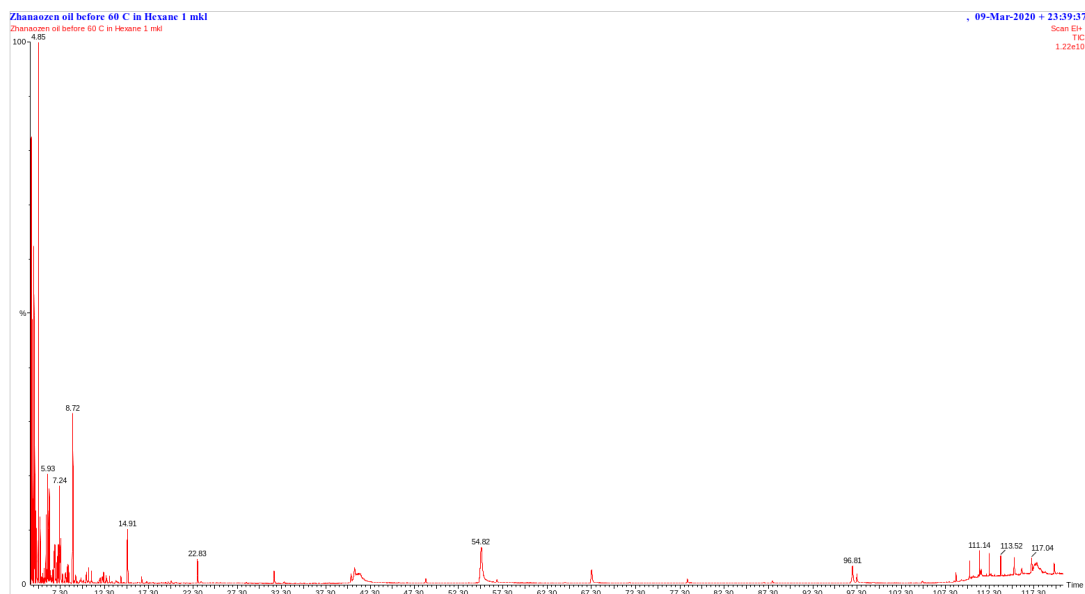


Рис. 4 - Хроматограмма компонентного состава нефти фракции до 60 °С

Омега-12 карбоновые кислоты (рисунок 5) найдены в масле грецкого ореха, в кукурузном, подсолнечном, соевом, хлопковом маслах, семенах тыквы. Следует отметить, что омега-12 карбоновая кислота (петроселиновая кислота) – в основном содержится в маслах кориандровых растений [6]. Достаточно хорошо изучена ферментативная активность ряда омега кислот [7]. Известно, что омега-12 кислоты снижают уровень жиров в организме [8].

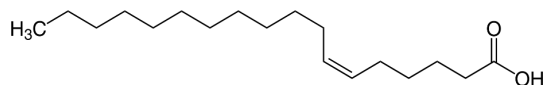


Рис. 5 - Петроселиновая кислота

Таблица 1 - Компонентный состав нефти месторождения Узень

RT	Рлит.	Рвыч.	Компонент	Соответствие	Площадь, %	
					А	В
4.029	763±8	776	Толуол*,**	905	0,06	11,18
4.143	773±1	779	3-Метилгептан***	904	0,19	5,02
4.22	776±2	781	<i>цис-1,1,3,4-Тераметилциклопентан****</i>	864		0,46
4.341	796±12	784	1,3-Диметилциклогексан	913	0,31	6,61
4.411	805±4	786	1,4-Диметилциклогексан	914	0,12	2,66
4.554	791±4	790	1,1-Диметилциклогексан	714	0,06	1,42
4.642	793±3	792	<i>транс-1-Этил-2-метилциклопентан</i>	847	0,06	1,35
4.741	797±4	794	1-Этил-1-метилциклопентан	911		0,1
4.825	800	797	Октан	953	1,14	16,39
5.042	807±3	802	<i>транс-1,3-Диметилциклогексан</i>	918		1,36
5.045	810±5	802	1,4-Диметилциклогексан	854	0,09	
5.163	818±4	805	<i>цис-1,1,3,4-Тераметилциклопентан</i>	844		0,13
5.221	817±5	807	1-Метиоэтилциклопентан	786		0,16
5.353	824±2	810	3-Этил-2,2-диэтилпентан	858		0,29
5.456	821±1	813	2,4-Диэтилгептан	951		0,32
5.533	825±4	815	<i>цис-1-Этил-3-метилциклопентан</i>	842		0,13
5.651		818	<i>Неизвестное соединение 1*****</i>			0,17
5.706	827±1	819	2,6-Диметилгептан	884	0,13	1,51
5.794	833±5	822	<i>цис-1,2-Диметилциклогексан</i>	917		0,25
5.838	834±3	823	Пропилциклогексан	732		0,39
5.926	836±5	825	Этилциклогексан	850	0,25	2,53
6.073	844±4	829	1,1,3-Триметилциклогексан	900	0,25	2,21
6.186	842±4	832	1,1,4-Триметилциклогексан	857		0,25
6.252	849±4	833	1,2,4-Триметилциклогексан	729		0,2

6.454	853±0	839	6-Метил-1-октен*****	840		0,3
6.649	853±3	844	1,3,5-Триметилциклогексан	868	0,12	0,79
6.711	855±1	845	2,3-Диметилгептан	874	0,13	0,86
6.872	855±10	849	Этилбензол	736	0,06	0,6
7.023	863±1	853	4-Метилоктан	834	0,09	0,58
7.096	865±1	855	2-Метилоктан	872	0,13	0,91
7.254	866±7	859	1,3-Диметилбензол	915	0,41	3,68
7.368	871±1	862	3-Метилоктан	850	0,24	1,3
7.925	877±9	877	1,2,3-Триметил-(1α,2β,3α)-циклогексан	740	0,96	0,08
7.584	877±9	868	1,2,3-Триметил-(1α,2β,3α)-циклогексан	901		0,38
7.775	877±3	873	1,2,4-Триметил-(1α,2β,4β)-циклогексан	871		0,05
7.914	887±5	876	1,1,2-Триметилциклогексан	798		0,33
7.966	889±3	878	1-Нонен	853		0,13
8.12	894±4	882	<i>цис-1-Этил-3-метилциклогексан</i>	849	1,42	0,56
8.274	896±4	886	<i>транс-1-Этил-4-метилциклогексан</i>	638	1,92	0,97
8.718	900	897	Нонан	912	15,78	5,7
8.901	908±25	901	1,2,3-Триметил-(1α,2α,3β)-циклогексан	776		0,07
9.037	919±N/A	903	1-Этил-2-метилциклогексан	915		0,32
9.048	910±4	903	<i>цис-1-Этил-4-метилциклогексан</i>	724	1,2	0,13
9.459	919±0	910	2,3,6-Триметилгептан	817		0,05
9.558	919±1	911	4,4-Диметилоктан	744		0,09
9.646	930±N/A	913	Октагидро-1-метилпентален*	712	1,17	0,25
9.829	921±9	915	Кумол	789		0,07
9.961	922±1	917	3,5-Диметилоктан	818		0,15
10.288	931±5	922	Пропилциклогексан	829	1,68	0,47
10.534	933±2	926	2,6-Диметилоктан	893	2,66	0,64
10.838	941±1	931	3-Этил-2-метилгептан	873	2,35	0,54
10.934	958±1	932	1,1,2,3-Тетраметилциклогексан	824		0,09
11.176	987±3	936	1-Децин	777		0,08
11.554	953±10	942	Пропилбензол	774		0,08
11.77	952±1	945	4-Этилоктан	718	1,08	0,19
11.854	958±1	946	1,1,2,3-Тетраметилциклогексан	868	1,39	0,2

12.067	957±8	950	1-Этил-3-метилбензол	752	0,15	0,33
12.24	953±1	952	2,3-Диметиллоктан	717	0,22	0,45
12.474	964±1	956	2-Метилнонан	821	0,16	0,27
12.595	972±9	958	Мезитилен	808	0,09	0,17
12.878	965±1	962	3-Этилоктан	729	0,22	0,33
13.116	957±8	966	1-Этил-3-метилбензол	703		0,15
13.619	983±0	973	1-Метил-2-пропилциклогексан	859	0,12	0,19
14.213	990±6	983	1,2,3-Триметилбензол	895	0,22	0,19
14.463	990±N/A	986	<i>м-Ментан</i>	738		12,69
14.929	1000	994	Декан	899	1,71	2,32
15.31	1042 iu	999	9-Метилбицикло[3.3.1]нонан	633		0,05
16.051	1013±7	1009	1,2,3-Триметилбензол	868		0,08
16.528	1018±2	1015	2,6-Диметилнонан	871	0,33	0,32
17.097	1030±2	1023	Бутилциклогексан	722	0,15	0,12
17.765	1066 iu	1031	5-Метил-2-(1-метилэтил)-1-гексанол	760	0,12	0,1
18.436	1037±6	1040	1-Метил-2-пропилбензол	793		0,04
18.792	1056±7	1044	<i>транс-Декагидронафталин</i>	724	0,13	0,12
19.225	1057±1	1050	5-Метилдекан	801	0,07	0,07
19.529	1060±1	1054	4-Метилдекан	722	0,13	0,1
19.878	1064±2	1059	2-Метилдекан	882	0,18	0,15
20.362	1071±1	1065	3-Метилдекан	757	0,21	0,13
21.25	1040 iu	1077	1-Метил-3-пропилциклогексан	757	0,07	
22.846	1100	1098	Ундекан	889	1,97	1,24
24.548	1129±14	1117	Декагидро-2-метилнафталин	824	0,12	0,04
25.032	1125±1	1122	3,7-Диметилдекан	743		0,04
25.432	1135±3	1126	Пентилциклогексан	767		0,05
27.535	1156±1	1149	5-Метилундекан	704	0,1	
28.331	1164±1	1158	2-Метилундекан	726	0,18	0,07
28.852	1170±1	1163	3-Метилундекан	803	0,09	0,04
31.482	1200	1192	Додекан	908	2,14	0,74

32.597	1210±4	1205	2,6-Диметилундекан	886	0,43	0,13
34.446	1238±2	1227	Гексилциклогексан	764	0,1	
37.04	1264±2	1259	2-Метилдодекан	829	0,13	
37.554	1271±1	1265	3-Метилдодекан	728	0,1	
37.745	1275±N/A	1268	2,6,11-Триметилдодекан	788	0,3	0,07
40.181	1300	1297	Тридекан	872	2,28	0,42
43.354	1346±2	1335	Гептилциклогексан	739	0,41	
45.552	1364±1	1361	2-Метилтридекан	769	0,41	
46.073	1371±1	1367	3-Метилтридекан	716	0,06	
46.494	1366±2	1372	2,7,10-Триметилдодекан	855	0,33	
48.597	1400	1397	Тетрадекан	884	2,53	0,3
49.29	1427±0	1405	<i>транс-Октагидро-2,2,4,4,7,7-гексаметил-1Н-инден</i>	728	0,13	
52.291	1472±2	1439	Декагидро-1,1,4а,5,6-пентаметилнафталин	749	0,1	
53.465	1449±1	1452	2,6,10-Триметилтридекан	843	0,34	
54.232	1470±1	1461	3-Метилтетрадекан	587	0,06	
56.635	1500	1488	Пентадекан	888	2,7	0,19
61.536	1563±1	1556	2-Метилпентадекан	766	0,25	
64.306	1600	1597	Гексадекан	882	2,44	0,08
68.954	1664±1	1665	2-Метилгексадекан	743	0,13	
71.596	1700	1704	Гептадекан	890	2,23	
71.794	1687±5	1707	2,6,10,14-Тетраметилпентадекан	783	0,34	
71.889	1727±1	1708	2,6,10-Триметилгексадекан	749	0,33	
76.024	1765±1	1769	2-Метилгептадекан	769	0,12	
78.548	1800	1806	Октадекан	875	3,96	
78.896	1863±3	1811	2-Метилоктадекан	691	0,43	
79.003	1889±4	1812	2,6,10,15-Тетраметилгептадекан	705	0,5	
85.181	1900	1903	Нонадекан	922	1,66	

86.766	1926±2	1926	Метилловый эфир пальмитиновой кислоты*****	867	0,53	0,05
91.509	2000	1995	Эйкозан	858	1,45	0
96.811	2092±4	2084	Метилловый эфир (Z, Z) 9,12-октадекадиеновой кислоты	909	7,04	1,33
97.31	2091±7	2092	Метилловый эфир (Z) 6-октадеценовой кислоты	929	2,82	0,68
97.581	2100	2097	Генэйкозан	852	1,36	
99.074	2128±4	2122	Метилстеарат	844	0,43	0,09
103.381	2200	2194	Докозан	888	1,34	
107.453		2337	<i>Неизвестное соединение 2</i>		1,46	
107.776		2349	<i>Неизвестное соединение 3, возможно стероид</i>		0,71	
108.352		2370	<i>Неизвестное соединение 4, возможно стероид</i>		0,19	0,05
109.082	2400	2396	Теракозан	863	1,91	
110.172	2500	2502	Пентакозан	889	1,55	
111.03	2600	2591	Гексакозан	888	1,49	
111.904	2700	2684	Гептакозан	913	1,58	0,04
112.868	2800	2787	Октакозан	864	1,68	0,05
113.98	2900	2880	Нонакозан	841	1,4	0,04
114.442		2917	<i>Неизвестное соединение 5, возможно стероид</i>		0,18	
114.596		2929	<i>Неизвестное соединение 6</i>		0,52	
115.286	3000	2985	Триаконтан	814	1,03	
116.875	3100	3077	Гентриаконтан	875	0,78	
118.819	3200	3183	Дотриаконтан	694	0,67	
			Всего		97,3	99,99
			Ароматические соединения		0,99	16,57
			Углеводороды		69,9	42,13
			Циклические		12,3	38,26
			Кислоты		10,8	2,15

			<i>Неизвестные соединения</i>		1,98	0,17
			<i>Неизвестные соединения, возможно стероиды</i>		1,08	0,05
			Ненасыщенные			0,51

А – нефть без разгонки, В - фракция нефти до 60 °С

* – компоненты, содержание которых превышает 2%;

** - ароматические соединения (фиолетовый цвет);

*** - алифатические соединения (синий цвет);

**** - циклические соединения (чёрный цвет);

***** - неидентифицированные соединения (курсив);

***** - ненасыщенные соединения (зелёный цвет);

***** - органические кислоты (красный цвет).

Так как омега-12 кислоты являются ценными в мире проводится ряд работ, в том числе и по разделению нафтеновых кислот и омега-12 кислоты импрегнированным силикагелем [9], а также микрореакторной хроматографией из растительных масел [10].

Омега-12 кислота является исходным веществом для синтеза софоролипидов [11] и ПАВ [12-15]. Эти софоролипиды производятся различными видами дрожжей, в основном *Starmerella bombicola*. Основными продуктами ферментации софоролипидов являются диацетилированный лактон софоролипида C18:1 и софоролипидная кислота 3 C18:1, оба из которых включают в свою структуру олеиновую кислоту. Софоролипиды обладают полезными биологическими свойствами, такими как противораковая, противомикробная, дерматологическая, иммунорегуляторная и противовирусная активность [16]. Они также обладают свойствами самосборки с большим разнообразием типов наноструктур, образующихся для различных производных софоролипидов [17].

Из исследуемых данных использование софоролипидов и омега-12 кислоты в составе косметических кремов прототвращает антивозрастные признаки кожи. Приводит к созданию гладкой и эластичной кожи с улучшенной текстурой, уменьшается и замедляется процесс старения кожи [13].

Как видно из приведенного обзора, нафтеновые кислоты, обладают рядом полезных свойств и востребованы в косметической, фармацевтической и парфюмерной отраслях как нашей страны, так и за рубежом.

Согласно приведенному обзору, извлечение омега кислот из нефти ранее в мире не производилось.

Необходимо отметить, что в случае использования нафтеновых кислот, Казахстан за счет производимого асидола и мылонафта покрывает потребность в синтетических моющих средствах не только у себя, но и в близлежащих странах. Так как содержание кислот в узеньской нефти составляет свыше 10%, а ежегодная добыча нефти составляет 8 миллион тонн, то нетрудно подсчитать, что производство асидола и мылонафта может составлять не менее 800 тыс. тонн.

По данным агентства Markets and Markets мировой рынок суперпластифицирующих добавок для бетона достигнет 4.77 миллиарда долларов в 2025 году с годовым ростом в 8,2% с 2020 по 2025 годы. Данный рост связан с ростом строительства в развитых странах и ростом потребности в экологически чистых продуктах.

По данным Комитета государственных доходов РК ежегодно в РК ввозится до 1500 тонн различных видов пластификаторов [18].

К широкоиспользуемым методам выделения нафтеновых кислот относят так называемый ме-

тод омыления или щелочной метод. В нем используется высококипящая фракция кислот (керосиновая, газойливая, фракция дизельного топлива и масляная), полученной при перегонке.

Наличие жирных кислот (в форме метиловых эфиров) в значительном количестве указывает на биогенное происхождение Узеньской нефти, а именно даже животного происхождения [19]. В связи с тем, что для анализа использовался методом хромато-масс-спектрометрии, возможно, что из поля зрения чувствительности прибора выпала часть жирных кислот, поэтому необходимо продолжение исследований переводя возможные жирные кислоты в летучую форму метилированием или диазотированием.

В таблице 2 представлены также цены за некоторые углеводороды, входящие в состав нефти Узеньского месторождения. Из приведенного следует, что казахстанскую нефть необходимо перерабатывать в своей стране с извлечением и последующим применением и реализацией ценных компонентов, содержащихся в них.

К сожалению, в настоящее время в Республике Казахстан не ведутся работы как по выделению как каких-либо отдельных компонентов, так и нафтеновых кислот из нефти. К слову сказать, в том же Азербайджане на основе нафталана – фракции особой нефти с полезными свойствами – производится фармацевтическая и косметическая продукция [20-21].

Таблица 2- Цены некоторых компонентов нефти месторождения Узень по данным компании Sigma-Alrich

Компонент	м, г	Цена, \$
1-Этил-3-метилбензол*	25	158
2,6-Диметиллоктан**	0,25	150
2-Метилнонан	5 mL	236
1,2,3-Триметилбензол	50 mL	136
1,1-Диметилциклогексан	1	66.8
1,3-Диметилциклогексан	25	46.5
1,4-Диметилциклогексан	25	224
Этилциклогексан	100	147
Этилбензол	1 L	57.6
2,3-Диметилгептан	1	69.1
3-Метилгептан	5 G	121
Мезитилен	500 mL	63.1
2-Метиллоктан	5 mL	337
Пропилциклогексан	100	815

* - компоненты, представляющие интерес, но на которых нет цен в каталогах;

** - наиболее ценные компоненты выделены жирным шрифтом.

Выводы. Таким образом, впервые методом хромато-масс-спектрометрии исследован подробный компонентный состав нефти с месторождения Узень. Установлено, что основными компонентами являются углеводороды. Обнаруженные метиловые эфиры жирных кислот в значительном количестве указывает на биогенное

происхождение узеньской нефти.

Составлена таблица ценных компонентов нефти и представлены цена на некоторых из них. Эти данные указывают, что казахстанскую нефть необходимо перерабатывать в своей стране с извлечением и последующим применением и реализацией ценных компонентов, содержащихся в

них.

Финансирование. Работа выполнена при фи-

нансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан № АР 19679527.

Литература

1. Иванова Л.В., Кошелёв В.Н., Сокова Н.А., Буров Е.А., Примерова О.В. Нефтяные кислоты и их производные. Получение и применение (обзор) // Труды РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2013. - № 1 (270). - С. 68-80.
2. Фарзанех Х.Ф., Мустафаев С.А., Мамедова Н.А. Нефтяные кислоты смеси бакинских нефтей морских месторождений и их хлорангидриды // *Kimya Problemləri*. – 2015. - № 1. – С.74-79.
3. На месторождении Узень обнаружили новые залежи нефти. Пресс-релиз КМГ от 31.01.2022. URL: <https://www.kmg.kz/ru/press-center/press-releases>.
4. Алиев Н.У., Сахатова Г.С., Ягудеев Т.А. Перспективы переработки мангышлакских нефтей // *Materiály «Zprávy Vědecké Ideje» Díl 25 Technické vědy IX Mezinárodní Vědecko - Praktická Konference*. – 2013. – С. 72.
5. Муллаев Б.Т., Абитова А.Ж., Саенко О.Б., Туркпенбаева Б.Ж. Месторождение Узень. Проблемы и решения, в двух томах. - Алматы, изд. Нур-Принт.- 2016.- 424 с. ISBN 978-601-7869-63-2.
6. Uitterhaegen E., Nguyen Q.H., Sampaio K.A., Stevens C.V., Merah O., Talou T., Rigal L., Evon Ph. Extraction of Coriander Oil Using Twin Screw Extrusion: Feasibility Study and Potential Press Cake Applications // *J Am Oil Chem Soc*, 2015. – Vol. 92. – P. 1219-1233. DOI: 10.1007/s11746-015-2678-4.
7. Heimermann W.H., Holman R.T., Gordon D.T., Kowalyszyn D.E., Jensen R.G. Effect of Double Bond Position in Octadecenoates upon Hydrolysis by Pancreatic Lipase // *Lipids*. - 1973. - Vol. 8(1). - P. 45-46. DOI: 10.1007/BF02533239.
8. Weber N., Richter K.-D., Schulte E., Mukherjee K.D. Petroselinic Acid from Dietary Triacylglycerols Reduces the Concentration of Arachidonic Acid in Tissue Lipids of Rats // *The Journal of Nutrition*. -1995. –Vol. 125. –Iss. 6. – P. 1563–1568. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1563>.
9. Breuer B., Stuhlfauth T., Fock H.P. Separation of Fatty Acids or Methyl Esters Including Positional and Geometric Isomers by Alumina Argentation Thin-Layer Chromatography // *Journal of Chromatographic Science*, 1987. - Vol. 25 (7). – P. 302-306. <https://doi.org/10.1093/chromsci/25.7.302>.
10. Kleiman R., Davison V.L., Earle F.R., Dutton H.J. Determination of Petroselinic Acid by Microreactor Chromatography // *Lipids*. -1967. -Vol. 2(4). - P. 339-340. <https://doi.org/10.1007/BF02532122>.
11. Delbeke E.I.P., Everaert J., Uitterhaegen E., Verweire S., Verlee A., Talou T., Soetaert W., Van Bogaert I.N.A., Stevens C.V. Petroselinic acid purification and its use for the fermentation of new sophorolipids // *AMB Expr*. -201. –Vol. 6(28). DOI 10.1186/s13568-016-0199-7.
12. Dierker M., Schafer H.J. Surfactants from oleic, erucic and petroselinic acid: Synthesis and properties // *Eur. J. Lipid Sci. Technol*. -2010. -Vol. 112. -P. 122–136. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejlt.200900126>.
13. EP 777971 A, GB 2181349. A Cosmetic use of petroselinic acid. 2005.
14. DE69927466T3. Kosmetische Verwendung von Petroselinsäure. 2010.
15. US 6,022,896. Petroselinic acid as an anti-irritant in compositions containing alpha-hydroxy acids. 2000.
16. Delbeke E.I.P., Movsisyan M., Van Geem K.M., Stevens C.V. Chemical and enzymatic modification of sophorolipids // *Green Chem*. -2016. – P. 76-104. DOI: 10.1039/C5GC02187A

17. Morya V.K., Ahn C., Jeon S., Kim E.K. Medicinal and cosmetic potentials of sophorolipids // *Mini Rev Med Chem.* - 2013. – P. 1761. DOI: 10.2174/13895575113139990002.
18. Қазақстан республикасы қаржы министрлігінің мемлекеттік кірістер комитеті: ресми интернет-ресурс <http://kgd.gov.kz>.
19. Cuvier A.S., Babonneau F., Berton J., Stevens C.V., Fadda G.C., Genois I., Le Griel P., Pehau-Arnaudet G., Vaccile N. Synthesis of uniform, monodisperse, sophorolipid twisted ribbons // *Chem Asian J.*, 2015. – P. 2419-2426. DOI:10.1002/asia.201500693.
20. Трунова Г.В., Белоусова Т.А., Гузев К.С., Калинина О.В., Ноздрин В.И. Экспериментальное исследование действия на сальные железы нафталанской нефти в составе препарата для накожных аппликаций // *Клиническая дерматология и венерология.* – 2017. – 16 (2). – С. 44-47.
DOI: 10.17116/klinderma201716244-47.
21. Адигезалова В.А. Нафталанская нефть Азербайджана, ее свойства и бальнеологическое действие // *НефтеГазоХимия*, 2020. - № 2. - С. 27–32. DOI:10.24411/2310-8266-2020-10206.

References

1. Ivanova L.V., Koshelev V.N., Sokova N.A., Burov E.A., Primerova O.V. Neftjanye kisloty i ih proizvodnyye. Poluchenie i primeneniye (obzor) // *Trudy RGU nefti i gaza imeni I.M. Gubkina.* – 2013. - № 1 (270). - S. 68-80. [in Russian]
2. Farzaneh H.F., Mustafaev S.A., Mamedova N.A. Neftjanye kisloty smesi bakinskih neftej morskikh mestorozhdenij i ih hlorangidridy // *Kimya Problemləri.* – 2015. - № 1. – S.74-79.
3. Na mestorozhdenii Uzen' obnaruzhili novye zalezhi nefti. Press-reliz KMG ot 31.01.2022. URL: <https://www.kmg.kz/ru/press-center/press-releases>. . [in Russian]
4. Aliev N.U., Sahatova G.S., Jagudeev T.A. Perspektivy pererabotki mangyshlaxskih neftej // *Materiály «Zprávy Vědecké Ideje» Díl 25 Technické vědy IX Mezinárodní Vědecko - Praktická Konference.* – 2013. – S. 72. . [in Russian]
5. Mullaev B.T., Abitova A.Zh., Saenko O.B., Turkpenbaeva B.Zh. Mestorozhdenie Uzen'. Problemy i reshenija, v dvuh tomah. - Almaty, izd. Nur-Print.- 2016.- 424 s. ISBN 978-601-7869-63-2. . [in Russian]
6. Uitterhaegen E., Nguyen Q.H., Sampaio K.A., Stevens C.V., Merah O., Talou T., Rigal L., Evon Ph. Extraction of Coriander Oil Using Twin Screw Extrusion: Feasibility Study and Potential Press Cake Applications // *J Am Oil Chem Soc*, 2015. – Vol. 92. – R. 1219-1233. DOI: 10.1007/s11746-015-2678-4.
7. Heimermann W.H., Holman R.T., Gordon D.T., Kowalyshyn D.E., Jensen R.G. Effect of Double Bond Position in Octadecenoates upon Hydrolysis by Pancreatic Lipase // *Lipids.* - 1973. - Vol. 8(1). - R. 45-46. DOI: 10.1007/BF02533239.
8. Weber N., Richter K.-D., Schulte E., Mukherjee K.D. Petroselinic Acid from Dietary Triacylglycerols Reduces the Concentration of Arachidonic Acid in Tissue Lipids of Rats // *The Journal of Nutrition.* -1995. –Vol. 125. –Iss. 6. – P. 1563–1568. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1563>.
9. Breuer B., Stuhlfauth T., Fock H.P. Separation of Fatty Acids or Methyl Esters Including Positional and Geometric Isomers by Alumina Argentation Thin-Layer Chromatography // *Journal of Chromatographic Science*, 1987. - Vol. 25 (7). – P. 302-306. <https://doi.org/10.1093/chromsci/25.7.302>.
10. Kleiman R., Davison V.L., Earle F.R., Dutton H.J. Determination of Petroselinic Acid by Microreactor Chromatography // *Lipids.* -1967. -Vol. 2(4). - R. 339-340. <https://doi.org/10.1007/BF02532122>.
11. Delbeke E.I.P., Everaert J., Uitterhaegen E., Verweire S., Verlee A., Talou T., Soetaert W., Van Bogaert

-
- I.N.A., Stevens C.V. Petroselinic acid purification and its use for the fermentation of new sophorolipids // *AMB Expr.* -201. –Vol. 6(28). DOI 10.1186/s13568-016-0199-7.
12. Dierker M., Schafer H.J. Surfactants from oleic, erucic and petroselinic acid: Synthesis and properties // *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* -2010. -Vol. 112. -P. 122–136. DOI: <https://doi.org/10.1002/ejlt.200900126>.
13. EP 777971 A, GB 2181349. A Cosmetic use of petroselinic acid. 2005.
14. DE69927466T3. Kosmetische Verwendung von Petroselinsäure. 2010.
15. US 6,022,896. Petroselinic acid as an anti-irritant in compositions containing alpha-hydroxy acids. 2000.
16. Delbeke E.I.P., Movsisyan M., Van Geem K.M., Stevens C.V. Chemical and enzymatic modification of sophorolipids // *Green Chem.* -2016. – P. 76-104. DOI: 10.1039/C5GC02187A
17. Morya V.K., Ahn C., Jeon S., Kim E.K. Medicinal and cosmetic potentials of sophorolipids // *Mini Rev Med Chem.* - 2013. – P. 1761. DOI: 10.2174/13895575113139990002.
18. Қазақстан республикасы қаршы министрлігінің мемлекеттік кірістер комитеті: ресми интернет-ресурс <http://kgd.gov.kz>. . [in Kazakh]
19. Cuvier A.S., Babonneau F., Berton J., Stevens C.V., Fadda G.C., Genois I., Le Griel P., Pehau-Arnaudet G., Baccile N. Synthesis of uniform, monodisperse, sophorolipid twisted ribbons // *Chem Asian J.*, 2015. – P. 2419-2426. DOI:10.1002/asia.201500693.
20. Trunova G.V., Belousova T.A., Guzev K.S., Kalinina O.V., Nozdrin V.I. Jeksperimental'noe issledovanie dejstviya na sal'nye zhelezy naftalanskoj nefti v sostave preparata dlja nakozhnyh aplikacij // *Klinicheskaja dermatologija i venerologija.* – 2017. – 16 (2). – S. 44 47. DOI: 10.17116/klinderma201716244-47. . [in Russian]
21. Adigezalova V.A. Naftalanskaja nef't' Azerbajdzhana, ee svojstva i bal'neologicheskoe dejstvie // *NefteGazoHimija*, 2020. - № 2. - S. 27–32. DOI:10.24411/2310-8266-2020-10206. . [in Russian]

Сведения об авторе

Сүлеймен Е.М. – АО «Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова», кандидат химических наук, PhD, служба поддержки КПО департамента крупных проектов ТОО «КМГ Инжиниринг», Астана, Казахстан, e-mail: Syerlan75@yandex.kz

Author information

Suleimen Ye.M. – JSC “Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov”, Candidate of Chemical Sciences, PhD, KPO support service of the department of large projects of KMG Engineering LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: Syerlan75@yandex.kz;

СҮТТІҢ МАЙ ҚЫШҚЫЛДЫ ҚҰРАМЫНА CSN3 ГЕНОТИПІНІҢ ӘСЕРІ

А.Ж. Хастаева

Қ.Құлажанов атындағы қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ., Қазақстан

✉ Корреспондент-автор: gera_or@mail.ru

Сүтті сиырларда май қышқылдарының типтік құрамы әртүрлі құрамдағы қышқылдармен ұсынылған, олардың шамамен 70% - ы қаныққан май қышқылдары (SFA), 25% - ы моноқанықпаған май қышқылдары (MUFA) және 5% - ы полиқанықпаған май қышқылдары (PUFA), бұл адам денсаулығы үшін май қышқылдарының идеалды профилінен айтарлықтай ерекшеленеді. Май қышқылдарының метил эфирлерін талдау Shimadzu GC 2010 Plus газ хроматографын жалын-иондау детекторымен (ПИД), сондай-ақ «CPSil 88 for FAME» (Agilent Technologies) ұзындығы 100 м, ішкі диаметрі 0.25 мм, жылжымалы емес фазалық пленка қалыңдығы 0,20 мкм капиллярлық бағанымен пайдалана отырып жүргізілді. Каппа-казеин генінің полиморфизмін анықтау және каппа-казеин генотиптері әртүрлі жануарлардың экономикалық пайдалы қасиеттерін бағалау үшін барлығы 60 сиыр таңдалды, оның ішінде 20 голштин сиыры, 20 алатау сиыры және 20 қара-ала сиыр. Каппа-казеин гендерінің полиморфизмі ПТР талдауы арқылы бағаланды. Әрі қарай зерттеу үшін аналогтар принципі бойынша каппа-казеин генін генотиптеу нәтижелері бойынша әр топта сиырлардың 3 кіші тобы құрылды. Бірінші топқа АА каппа-казеин генотипі бар сиырлар, екіншісі-АВ генотипі, үшіншісі-ВВ генотипі кірді.

Түйін сөздер: каппа-казеин, полимеразды тізбекті реакция, сүт, май қышқылдары, сиыр тұқымы.

ВЛИЯНИЕ ГЕНОТИПА CSN3 НА СОДЕРЖАНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В МОЛОКЕ

Хастаева А.Ж.

Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, г.Астана, Казахстан,
e-mail: gera_or@mail.ru

У молочных коров типичный состав жирных кислот представлен кислотами разного состава, около 70% из них составляют насыщенные жирные кислоты (SFA), 25% мононенасыщенные жирные кислоты (MUFA) и 5% полиненасыщенные жирные кислоты (PUFA), что значительно отличается от идеального профиля жирных кислот для здоровья человека. Анализ метиловых эфиров жирных кислот проводили с использованием газового хроматографа Shimadzu GC 2010 Plus с пламенно-ионизационным детектором (ПИД), также с капиллярной колонкой «CPSil 88 for FAME» (Agilent Technologies) длиной 100 м, внутренним диаметром 0.25 мм, толщиной пленки не подвижной фазы 0.20 мкм. Для определения полиморфизма генов каппа-казеина и оценки хозяйственно-полезных признаков у животных с разными генотипами каппа-казеина, было отобрано всего 60 коров, из них 20 коров голштинской, 20 коров алатауской и 20 коров черно-пестрой породы. Оценку полиморфизма генов каппа-казеина проводили методом ПЦР анализа. Для дальнейшего исследования согласно принципу аналогов по результатам генотипирования по гену каппа-казеина были сформированы в каждой группе по 3 подгруппы коров. В первую группу были включены коровы с генотипом каппа-казеина АА, во вторую – генотипом АВ, в третью – генотипом ВВ.

Ключевые слова: каппа-казеин, полимеразная цепная реакция, молоко, жирные кислоты, порода.

THE EFFECT OF THE CSN3 GENOTYPE ON THE CONTENT OF FATTY ACIDS IN MILK

Khastayeva A.Zh.

K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,

e-mail: gera_or@mail.ru

In dairy cows, acids of different compositions represent the typical composition of fatty acids, about 70% of them are saturated fatty acids (SFA), 25% monounsaturated fatty acids (MUFA) and 5% polyunsaturated fatty acids (PUFA), which significantly differs from the ideal profile of fatty acids for human health. The analysis of methyl esters of fatty acids was carried out using a Shimadzu GC 2010 Plus gas chromatograph with a flame ionization detector (PID), also with a capillary column "CPSil 88 for FAME" (Agilent Technologies) with a length of 100 m, an inner diameter of 0.25 mm, and a film thickness of 0.20 microns of non-mobile phase. To determine the polymorphism of kappa-casein genes and evaluate economically useful traits in animals with different genotypes of kappa-casein, only 60 cows were selected, including 20 Holstein cows, 20 Alatau cows and 20 black-and-white cows. The polymorphism of kappa-casein genes was evaluated by PCR analysis. For further research, 3 subgroups of cows were formed in each group according to the principle of analogues, the results of genotyping and kappa-casein gene. The first group included cows with the AA kappa-casein genotype, the second – the AB genotype, and the third – the BB genotype.

Keywords: kappa-casein, polymerase chain reaction, milk, fatty acids, breed.

Кіріспе. Сүт майының май қышқылдық құрамы сүттің тағамдық және биологиялық құндылығына және технологиялық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді [1]. Сүтте май қышқылдары бірдей дерлік екі көзден түзіледі – азықтық және сиыр қарынындағы микробтық белсенділік [2 - 7]. Май фазасына сонымен қатар фосфолипидтер (фосфатидхолин, сфингомиелин және т.б.), гликолипидтер (цериброзидтер), стеролдар және олардың күрделі эфирлері жатады [8]. Сүт майының құрамы қандағы холестерин деңгейінің жоғарылау қаупімен, жүрек ауруының дамуымен, салмақтың жоғарылауымен және семіздікпен байланысты SFA-ның жоғары болуына байланысты жиі сынға ұшырайды [9 - 14]. Керісінше, MUFA-лар холестеринді төмендететін қасиеттеріне байланысты адам денсаулығына пайдалы әсер етеді деп саналады [15]. Профилактикалық және емдік қасиеттері бойынша, әсіресе жүрек-қан тамырлары ауруларының алдын алу үшін ω-3 және ω-6 май қышқылдары құнды болып саналады [16 – 19]. Қаныққан майдың мөлшері өте маңызды көрсеткіш болып табылады, өйткені теңгерімсіз тұтыну жүрек-қан тамырлары ауруларының қаупінің жоғарылауымен байланысты

[20]. Липидті компоненттің қаныққан төмен молекулалы ұшпа май қышқылдары C4:0-ден C8:0-ге дейін тек сүт майында болады. Олар сүт пен сүт өнімінің дәмі мен иісін қамтамасыз етеді. Колонокарцинома ингибиторы болып табылатын май қышқылы үлкен маңызға ие [21]. Май қышқылдарының құрамының өзгергіштігінің көп бөлігі генетикалық жолмен анықталады [22]. Мал шаруашылығына ДНҚ технологиясын енгізу жануарлардағы экономикалық пайдалы белгілерді бақылауға және болжауға мүмкіндік береді, бұл әрбір жануардың қосымша пайдаланылуын анықтауда өте маңызды [23].

Каппа казеин гені (CSN3) сүт ақуыздарымен және оның ұю қасиеттерімен байланысты. В аллелі ақуыздар мен майлардың жоғары пайызымен, сондай-ақ ірімшік өндірудің оңтайлы сипаттамаларымен байланысты ең құнды аллельдер ретінде

аталған. А аллелі негізінен сүт, май және ақуыз өндірісіне оң әсер етеді [24, 25]. Авторлар әр түрлі сиыр тұқымдарын зерттеуде А аллелінің В аллеліне үстемдігін сипаттаған [26, 27].

Материалдар мен әдістер. Полиморфизмді

Каппа-казеин генімен анықтау Қазақстан–Жапон инновациялық Орталығының «Жасыл биотехнология және жасушалық инженерия» зертханасының қызметкерлерімен бірлесіп, CSN3 генімен генотиптеу үшін ПТР әдісін қолдана отырып жүргізілді. Каппа казеин генін зерттеу және бағалау үшін сыналған жануарлардан қан үлгілері мен ДНҚ үлгілері алынды. ДНҚ экстракциясы өндірушінің нұсқауларына сәйкес Pure Link Genomic DNA Mini Kit (Invitrogen by Thermo Fisher Scientific, АҚШ) арқылы жүзеге асырыл-

ды. Күшейту Master Cyler Nexus анықтау циклінің көмегімен жүзеге асырылды (Eppendorf AG, Германия). ПТР қоспасы келесі құрамда пайдаланылды: зерттелетін геннің аймағын күшейту үшін праймер жұбы, нуклеозидтрифосфаттардың қоспасы (2/5 мМ), магний хлориді (25 мМ), ПТР үшін 10 еселік буфер, Так полимераза [28, 29]. CSN3 генінің фрагменттерін күшейту үшін [30] олигонуклеотидтердің келесі жұптары пайдаланылды:

– алға праймер 5'-АТАГССАААТАТАТСССААТТСАГТ-3';

– кері праймер 5'-ТТТАТТААТААГТССАТГААТСТТГ-3.

Осы праймерлермен амплификаттау келесі бағдарлама бойынша жүргізілді: CSN3 генінің фрагменті үшін бірінші цикл 95 °С, 5 мин; кейінгі 35 цикл: денатурация – 95 °С температурада 30 с, күйдіру – 63 °С температурада 50 с, синтез – 72 °С температурада 30 с; ұзарту – 72 °С температурада 5 мин. Алынған ампликондар өндірушінің ұсыныстарына сәйкес рестриктаза ферменттеріне – Hinf I (CSN3 гені) шектеу ферменттеріне ұшырады. Рестрикциядан кейін ампликон фрагменттері 2,5% агарозды геледе көлденең электрофорезге ұшырады. Фрагменттерді бояу және визуализациялау үшін электрофорезден кейін агарозды гелдер 0,005% этидий бромиді ерітіндісінде 15 минут бойы ұсталды және GelDoc жүйесі (Bio-Rad, АҚШ) арқылы түсірілді. Фрагменттердің молекулалық салмақтары ампликон фрагменттерімен параллель орындалатын молекулалық салмақ стандарттарының «баспалдақтары» арқылы анықталды.

Харди-Вайнберг заңы [31] бойынша зерттелетін популяциядағы генотип жиіліктерінің күтілетін нәтижелері есептелді.

Май қышқылдарының метил эфирлерін талдау Қазақстан–Жапон инновациялық орталығында Shimadzu GC 2010 plus газ хроматографын жалын-иондау детекторымен (ПВД), сондай-ақ «CPSil 88 for FAME» (Agilent Technologies) ұзындығы 100 м, ішкі диаметрі 0.25 мм, жылжымалы емес фазалық пленка қалыңдығы 0,20 мкм капиллярлық бағанымен пайдалана отырып жүр-

гізілді. Сүт майының май қышқылының құрамын анықтау ішкі қалыпқа келтіру әдісін қолдануға негізделген – қоспаның құрамдас бөліктерінің құрамын анықтау әдісі, онда кез-келген параметрлердің қосындысы, барлық шындардың аудандарының қосындысы 100% деп қабылданады, содан кейін жеке шың ауданының көбейту аудандарының қосындысына қатынасы және 100-ге қоспаның құрамдас бөліктерінің массалық үлесін (%) сипаттайды. Бұл әдіс талданатын компоненттердің аудандарының олардың концентрациясына әдеттегі градуирлеу тәуелділігін құруды қажет етпейді. Алайда, хроматографиялық жүйені бітіру шындарды одан әрі дұрыс анықтау үшін май қышқылдарының метил эфирлерінің уақытын бағалау үшін қажет. Хроматография буландырғыштың температурасы 250°С, детектордың температурасы 260°С болған кезде жүргізілді. Тасымалдаушы газ (жылжымалы фаза)-азот, тұтыну 95.5 мл/мин. Хроматографқа ағынның бөлінуі 1:40 болатын 1 мкл сынама енгізілді. Май қышқылдарының метил эфирлерін толығымен бөлу үшін температураны бағдарламалаумен арнайы бөлу режимі таңдалды (талдаудың жалпы уақыты – 68.5 мин):

- бағанның бастапқы температурасы 100°С - 5 минут ішінде;

- 27,5 мин ішінде 4°С/мин жылдамдықпен температураның 210°С дейін градиенттік өсуі;

- 8 минут ішінде 210°С температурада изотермиялық бөлігі.

- 3 минут ішінде 10°C/мин жылдамдықпен температураның 240 °C дейін градиентті жоғарылауы;

- 25 минут ішінде 240°C температурада изотермиялық учаске.

Калибрлеу май қышқылдарының 37 метил эфирлері қоспасының стандартты үлгісін қолдана отырып жүргізілді [32]. Май қышқылының құрамын сынама дайындау және анықтау МЕМСТ 32915-2014 «Сүт және сүт өнімдері. Газ хроматографиясы арқылы май фазасының май қышқылының құрамын анықтау» сәйкес жүзеге асырылды.

Сүт липидтерінің биологиялық тиімділік коэффициенті полиқанықпаған май қышқылдарының жалпы санының қаныққан май қышқылдарының жалпы санына қатынасы ретінде анықталды [33]:

$$БЭ = \frac{\sum PUFA}{\sum NFA} \quad (1)$$

мұндағы: БЭ – биологиялық тиімділік коэф-

Атерогендік индексі Уилбрихт пен Саутгейт формуласы бойынша есептелді [37].

$$ИА = \frac{12 : 0 + 4 \times 14 : 0 + 16 : 0}{\sum МНЖК + \sum ПНЖК} \quad (2)$$

Тромбогендік индексі Уилбрихт пен Саутгейт формуласымен есептелді:

$$ИТ = \frac{C14 : 0 + C16 : 0 + C18 : 0}{0.5 \times МНЖК + 0.5 \times ПНЖК - \omega 6 + 0.5 \times ПНЖК - \omega 3 + ПНЖК - \frac{\omega 3}{ПНЖК} - \omega 6} \quad (3)$$

Денсаулық индексі келесі формула бойынша есептелді:

$$ИЗ = \frac{\sum МНЖК + \sum ПНЖК}{C12 : 0 + 4 \times C14 : 0 + C16 : 0} \quad (4)$$

Денсаулық индексі (ИЗ) - полиқанықпаған және моноқанықпаған май қышқылдарының қосындысының қаныққан май қышқылдарына қатынасын көрсетеді [38]. Әдетте, соя және зәйтүн сияқты өсімдік майлары денсаулықтың ең үлкен индексіне ие-7-ден жоғары, ал PUFA және MUFA төмен құрамымен сипатталатын жануарлар майларының индексі 2-ден аз. CSN3 генотипіне бай-

фициенті, Σ PUFA – липидтердегі полиқанықпаған май қышқылдарының жалпы мөлшері,%, Σ NFA – қаныққан май қышқылдарының жалпы мөлшері, %.

Тұтынылатын тағамның май қышқылдық құрамын сипаттайтын көрсеткіштерге атерогендік, тромбогендік және денсаулық индекстері жатқызылуы мүмкін. Атерогендік индексі (ИА) – қаныққан және қанықпаған май қышқылдарының қосындысы арасындағы қатынасты көрсететін көрсеткіш [34]. Бұл индекс қаныққан және қанықпаған май қышқылдарының арақатынасынан есептеледі. Тромбогендік индексі (ИТ) – протромбогендік (қаныққан май қышқылдары) және антитромбо-гендік (моно және полиқанықпаған май қышқылдары) арақатынасымен анықталатын қан тамырларындағы тромбоз тенденциясын сипаттайтын көрсеткіш. Сонымен, атерогендік және тромбогендік индексі жоғары қаныққан майлар мен өнімдерді шамадан тыс тұтыну атеросклероздың даму қаупін едәуір арттырады, нәтижесінде инфаркт пен инсульт, сондай-ақ жүректің ишемиялық ауруы туындайды [35, 36].

ланысты сүттің сапалық көрсеткіштері мен биологиялық құндылығын зерттеу бойынша ғылыми зерттеу жүргізу үшін сиырлардың әр тобында үш кіші топ құрылды.

Нәтижелер және талқылау. 1-кестеге сәйкес зерттелген үлгілерде каппа казеинінің АА, АВ және ВВ үш генотипінің болуын көрсетті. Голш-

тин тұқымдас сиырларда А аллелінің пайда болу жиілігі 0,65, ал В аллелі 0,35 болды. АА генотипі үшін пайда болу жиілігі 45%, АВ үшін – 40% және ВВ – 15% құрады. Ал қара-ала тұқымды жануарларда А аллелінің пайда болу жиілігі 0,78, ал В аллелі 0,22 болды. АА генотипі үшін пайда болу жиілігі 60%, АВ үшін – 35% және ВВ – 5% құрады. Ал Алатау тұқымды сиырларда А

аллелінің кездесу жиілігі 0,75, ал В аллелі 0,25 болды. АА генотипі үшін пайда болу жиілігі 55%, АВ үшін – 40% және ВВ – 5% құрады. Барлық үш тұқымның сиырларында каппа-казеин генінің АА, АВ және ВВ генотиптері мен аллельдерінің кездесу жиілігі 1-кестеде барынша анық көрсетілген [39].

1-кесте – Зерттелген сиырлардағы каппа-казеин генінің генотиптері мен аллельдерінің кездесу жиілігі

Сиыр тұқымы		n	Генотип жиілігі						Аллель жиілігі	
			АА		АВ		ВВ		А	В
			n	%	n	%	n	%		
Голштин	Н	20	9	45	8	40	3	15	0.65	0.35
	О		9	45	9	45	2	10		
Қара-ала	Н	20	12	60	7	35	1	5	0.78	0.22
	О		12	60	7	35	1	5		
Алатау	Н	20	11	55	8	40	1	5	0.75	0.25
	О		11	55	8	40	1	5		

Кесте 2 - Каппа-казеин генотипіне байланысты зерттелетін тұқымды сиырлар сүтінің май қышқылдық құрамы

Май қышқылының коды	Май қышқылының атауы	Голштин			Қара-ала			Алатау		
		АА	АВ	ВВ	АА	АВ	ВВ	АА	АВ	ВВ
С4:0	май	3.06	3.62	3.70	3.50	3.49	3.80	3.50	2.14	2.18
С6:0	капрон	1.59	2.24	1.52	1.68	3.00	2.13	1.81	1.55	1.58
С8:0	каприл	1.32	1.57	1.40	1.11	1.66	1.20	1.56	0.97	0.99
С10:0	каприн	2.11	3.50	2.41	2.15	3.53	2.12	2.14	2.24	2.37
С12:0	лаурин	2.78	3.25	2.97	3.01	3.67	3.12	2.33	2.62	2.81
С14:0	миристин	10.01	12.96	9.63	11.36	11.57	11.50	10.60	10.16	10.05
С16:0	пальмитин	27.59	28.44	27.69	28.10	26.04	28.40	27.63	28.17	27.71
С18:0	стеарин	9.18	9.50	13.14	10.25	10.71	10.36	11.30	12.26	12.31
С20:0	арахин	0.14	0.10	0.20	0.25	0.09	0.18	0.20	0.15	0.17
С22:0	беген	0.07	0.08	0.11	0.08	0.04	0.07	0.08	0.06	0.06
қаныққан май қышқылдары		57.85	65.28	62.77	61.49	63.80	62.88	61.14	60.32	60.24
С10:1	децен	0.26	0.40	0.28	0.26	0.21	0.30	0.33	0.21	0.20
С14:1*	миристинолеин	1.44	1.48	0.87	1.15	1.21	1.33	1.15	1.12	1.02
С16:1*	пальмитолеин	2.33	2.37	1.60	2.03	2.37	2.14	2.05	2.13	1.96
С18:1*	олеин (омега 9)	29.46	21.64	25.58	25.80	23.49	23.89	26.90	26.80	27.12
моноқанықпаған май қышқылдары		33.49	25.89	28.34	29.24	27.29	27.66	30.43	30.26	30.30
С18:2*	линол (омега 6)	3.52	3.79	3.89	3.01	3.82	4.01	2.63	3.94	4.10
С18:3*	а_ линолен (омега 3)	0.99	0.86	0.94	1.40	1.06	1.20	1.14	1.06	1.13
полиқанықпаған май қышқылдары		4.51	4.65	4.83	4.41	4.88	5.21	3.77	5.00	5.23
қанықпаған май қышқылдары		38.0	30.54	33.17	33.65	32.17	32.87	34.20	35.26	35.53
басқа май қышқылдары		4.15	4.19	4.06	4.86	4.03	4.25	4.65	4.42	4.22

3-кесте – Каппа-казеин генотипіне байланысты зерттелетін тұқымды сиырлардағы негізгі өмірлік маңызды май қышқылдарының құрамы мен қатынасы

Май қышқылының мөлшері, %	Голштин			Қара-ала			Алатау		
	AA	AB	BB	AA	AB	BB	AA	AB	BB
ΣННЖК	38.0	30.54	33.17	33.65	32.17	32.87	34.20	35.26	35.53
ΣНЖК	57.85	65.28	62.77	61.49	63.80	62.88	61.14	60.32	60.24
ΣC12:0-C16:0	40.38	44.65	40.29	42.47	41.28	43.02	40.56	40.95	40.57
ΣПНЖК (C18:2-C18:3)	4.51	4.65	4.83	4.41	4.88	5.21	3.77	5.00	5.23
Олеин қышқылы (C18:1)	29.46	21.64	25.58	25.8	23.49	23.89	26.90	26.80	27.12
Май қышқылы (C4:0)	3.06	3.62	3.70	3.5	3.49	3.8	3.50	2.14	2.18
ΣC8:0-C12:0	6.21	8.32	6.78	6.27	8.86	6.44	6.03	5.83	6.17
ΣC4:0-C12:0+ ΣПНЖК	15.37	18.83	16.83	15.86	20.23	17.58	15.11	14.52	15.16
C18:2 : C18:3	3.56	4.41	4.14	2.15	3.60	3.34	2.31	3.72	3.63
ΣНЖК/ ΣННЖК	1.52	2.14	1.89	1.83	1.98	1.91	1.79	1.71	1.70
ИА	1.85	2.74	2.09	2.27	2.36	2.36	2.12	2.03	1.99
ИТ	2.67	3.74	3.38	3.17	3.34	3.40	3.09	3.17	3.12
ИЗ	0.54	0.37	0.48	0.44	0.42	0.42	0.47	0.49	0.50

Жалпы алғанда, голштин сиырларында генотиптердің күтілетін жиілігі ВВ аллельдерінің генотипі бақыланатын шамаларға қарағанда 5% -ға төмен, АВ генотипі бақыланатын шамаларға қарағанда жоғары және АА генотиптері бірдей. Қара-ала және Алатау тұқымдарының сиырларында күтілетін және байқалатын АА, АВ және ВВ генотиптерінің кездесу жиілігі бірдей болды.

Каппа-казеин генінің локустары бойынша зерттелетін тұқымды сиырлар сүтінің май қышқылдық құрамы зерттелді. 2-кестеге сәйкес талдау нәтижелері бойынша - АА генотиптері бар зерттеліп отырған сиырлардың сүт майындағы май қышқылының құрамы бойынша PUFA көрсеткіші төмен екенін және Алатау тұқымды сиырларда ең төменгі көрсеткіштер болғанын көрсетті, яғни – 3,77%-ды құрады, біз білетіміздей, шикізат құрамында маңызды май қышқылдарының болуы адам ағзасына жағымды әсер етеді. Май қышқылының құрамы бойынша ВВ генотипі бар қара-ала тұқымды сиырлар көш бастап тұр, яғни ол 3,80%-ды құрады, содан кейін АВ және ВВ аллельдері бар голштин сиырларында 3,62% және 3,70%-ды құрады, біз білетіндей, бұл қышқыл адам ағзасына негізінен тек сүтпен енеді (2-кесте).

ω-6 /ω-3 қатынасы маңызды көрсеткіш болып табылады, АВ және ВВ генотиптері бар голштин сиырларында оңтайлы шамаларға жақын болды, яғни ол 3-кестеге сәйкес 4,41% және 4,14%-ды құрайды. Полиқаньқаған май қышқылдары жоғары биологиялық белсенділікпен сипатталады - олар жасуша алмасуына қатысады және антисклеротикалық әсерге ие [40, 41]. Май қышқылы құрамының жалпы санынан PUFA ең жоғары көрсеткіштері ВВ және АВ генотиптері бар жануарларда (5,23%; 5%) болды. Барлық сүт топтарында сәйкесінше және C18: 2 басым болды (3-кесте).

Қорытынды. ҒЗЖ шеңберінде каппа-казеин генотипінің зерттелетін тұқымды сиырлардағы негізгі өмірлік маңызды май қышқылдарының құрамы мен арақатынасына әсері туралы зерттеулер жүргізілді. АВ және ВВ аллельдерін тасымалдайтын қара-ала тұқымды сиырлардың сүтінің құрамында ω-6 және ω-3 саны – 4,88% және 5,21% құрады, ал Алатау тұқымды сиырларда АВ және ВВ генотиптері бар бұл көрсеткіш ең жоғары болды – 5,00% және 5,23%, бұл адам ағзасына анағұрлым қолайлы. Алынған нәтижелер арқылы сүттің құрылымын егжей-тегжейлі зерттеуге көмектесетін қосымша зерттеулер жүргізуге болады.

Литература

1. Юдахина М. А., Табаков Н. А. Влияние скармливания плющеного ячменя дойным коровам на молочную продуктивность и качество продуктов переработки молока // Вестник красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 2011.- № 8(59). - С. 172 - 175.
2. Fenelon M. A., and Guinee T. P. The effect of milk fat on Cheddar cheese yield and its prediction, using modifications of the van Slyke cheese yield formula // J. Dairy Sci. – 1999. – № 82(11).- P. 2287 - 2299. DOI.10.3168/jds.S0022-0302(99)75477-9
3. Esposito G., Masucci F., Napolitano F., Braghieri A., Romano R., Manzo N., and Di Francia A. Fatty acid and sensory profiles of Caciocavallo cheese as affected by management system // J. Dairy Sci. - 2014.-№ 97(4). -P. 1918-1928. DOI 10.3168/jds.2013-7292
4. Martini M., Salari F., and Altomonte I. The macrostructure of milk lipids: The fat globules // Crit. Rev. Food Sci. Nutr.- 2016. -№ 56(7).-P.1209-1221. DOI 10.1080/10408398.2012.758626
- 5.Иванов В. А., Таджиев К. П. Состав и технологические свойства молока симментальских и симментал-голландских помесных коров//Аграрное образование и наука.- Екатеринбург.- 2014.- № 4.- С. 1 -7.
6. Lucey J. A. Raw milk consumption. Risks and benefits // Nutr. Today. 2015.-Vol. 50(4).- P. 189—193. DOI 10.1097/NT.000000000000108
7. Буянова И. В., Дьяченко С. А. Требования к сырью и готовой продукции в сыроделии алтайского края // Техника и технология пищевых производств. –Кемерово.- 2013.- № 4. - С. 3 - 8.
8. Bilal G., Cue R. I., Mustafa A. F., and Hayes J. F. Short communication: Genetic parameters of individual fatty acids in milk of Canadian Holsteins // J. DairySci.- 2014.-Vol.97(2).- P.1150-1156. DOI 10.3168/jds.2012-6508
9. Loginova T. P. and Vorobyeva N. V. Fat phase of milk – raw material of cows of different breeding in LLC «Plmzavod named after Lenin» // Vestnik of Ulanovsk state agricultural academy.-2016.-№ 2.- P. 145-150.
9. Логинова Т.П., Воробьева Н.П.Фаза молока-сырья у коров различной селекции в ООО «Племзавод им.Ленина»// Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.- 2016.-№ 2.- С.145-150. DOI 10.18286/1816-4501-2016-2-145-150
10. Parodi P. Milk fat in human nutrition // Australian J. Dairy. Technol. -2004.-Vol. 59.- P.3-59.
11. Топникова Е. В., Горшкова Е. И., Меркулова М. И. Исследование состава жирных кислот молочного масла // Сыроделие и маслоделие.- 2013.-№ 3.- С. 47 - 49.
12. Shingfield K. J., Bonnet M., and Scollan N. D. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods // Animal (Suppl)-2013.- Vol. 7(1).-P. 132-162. DOI 10.1017/S1751731112001681
13. Nullo E., Frigo E., Rossoni A., Finocchiaro R., Serra M., Rizzi N., Samore A. B., Canavesi F., Strillacci M. G., Prinsen R. T. M. M., Bagnato A. Genetic parameters of fatty acids in Italian Brown Swiss and Holstein cows // Ital. J. Anim. Sci.-2014.- Vol.13(3).- P. 397-403. DOI 10.4081/ijas.2014.3208
14. Pulina G., Francesconi A. H. D., Stefanon B., Sevi A., Calamari L., Lacetera N., Dell’Orto V., Pilla F., Marsan P. A., Mele M., Rossi F., Bertoni G., Crovetto G. M., and Ronchi B. Sustainable ruminant production to help feed the planet // Ital. J. Anim. Sci.- 2017.- Vol.16(1).-P. 140-171. DOI 10.1080/1828051X.2016.1260500
15. Schwingshackl L., and Hoffmann G. Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease: Synopsis of the evidence available from systematic reviews and meta-analyses // Nutrients -2012.- Vol. 4(12)- P. 1989–2007. DOI 10.3390/nu4121989
16. Food and Agriculture Organization. (2010). Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert

consultation. FAO Food Nutr. -166 p. ISBN 978-92-5-106733-8

17. Li C., Sun D., Zhang S., Wang S., Wu X., Zhang Q., Liu L., Li Y., and Qiao L. Genome wide association study identifies 20 novel promising genes associated with milk fatty acid traits in Chinese Holstein // PLoS One – 2014- Vol. 9 (5). - P. 96-186. DOI 10.1371/journal.pone.0096186
18. Zhang, W., Zhang, J., Cui, L., Ma, J., Chen, C., Ai, H., Xie, X., Li, L., Xiao, S., Huang, L., Ren, J., Yang, B. Genetic architecture of fatty acid compositions in the longissimus dorsi muscle revealed by genome-wide association studies on diverse pig populations // Genetics Selection Evolution.-2016.-№ 48 (5).- P. 1-10. DOI 10.1186/s12711-016-0184-2
19. Добрян Е. И., Юрова Е. А., Жижин Н. А. Функциональные молочные продукты, обогащенные полиненасыщенными жирными кислотами семейства омега-3 и омега-6 // Молочная промышленность.- 2013.-№ 11.- С. 45 - 46.
20. Перова Н. В., Метельская В. А., Соколов Е. И., Щукина Г. Н., Фомина В. М. Диетические жирные кислоты. Влияние на риск сердечно-сосудистых заболеваний // Рациональная аптекарь.-2011.-№ 7(5).- С. 620 - 627.
21. Хромова Л. Г., А. В. Востроилов, Н. В. Байлова. Молочное дело: Учебник – СПб.: Издательство «Лань», 2022. - 332 с. ISBN 978-5-507-44239-3
22. Stoop, W.M., van Arendonk, J.A.M., Heck, J.M.L., Valenberg, H.J.F., Bovenhuis, H. Genetic parameters for major milk fatty acids and milk production traits of Dutch Holstein Friesians // Journal of Dairy Science.-2008.- Vol. 91(1).-P. 385 - 394. DOI 10.3168/jds.2007-0181
23. Narukami, T., Sasazaki, S., Oyama, K., Nogi, T., Taniguchi, M., Mannen, H. Effect of DNA polymorphisms related to fatty acid composition in adipose tissue of Holstein cattle // Animal Science Journal. -2011.-Vol. 82(3).- P. 406- 411. DOI 10.1111/j.1740-0929.2010.00855.x
24. Калашникова Л. А., Труфанов В. Г. Влияние генотипа каппа-казеина на молочную продуктивность и технологические свойства молока коров холмогорской породы // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук.-2006.- № 4.- С. 43 - 44.
25. Тюлькин С. В., Ахметов Т. М., Загидуллин Л. Р., Рачкова Е. Н., Шайдуллин С. Ф., Гильманов Х. Х. Полиморфизм гена каппа-казеина в стадах крупно рогатого скота Республики Татарстан // Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. -2016. – Т. 255, № 1. – С. 148–151.
26. Павлова Н. И., Филиппова Н. П., Куртанов Х. А., Корякина Л. П. Оценка аллельного и генотипического разнообразия крупного рогатого скота Якутии по генам молочности // Наука и образование.- 2016.-№ 3.- С. 122-127.
27. Khaizaran, Z., Al-Razem, F. Analysis of selected milk traits in Palestinian Holstein-Friesian cattle in relation to genetic polymorphism // Journal of Cell and Animal Biology.-2014. -Vol. 8(5).- P. 74 - 85. DOI 10.5897/JCAB2014.0409
28. Овсяников А. И. Основы опытного дела в животноводстве. – М.: Колос, 1976.- 303 с.
29. Дунин И. М., Переверзев Д. Б., Козанков А. Г. Проведение научных исследований в скотоводстве: Методические рекомендации.- М., 2000.-80 с.ISBN 5-87958-126-8
30. Калашникова Л. А., Дунин И. М., Глазко В. И., Рыжова Н. В., Голубина Е. П. ДНК-технологии оценки сельскохозяйственных животных.-Лесные Поляны: ВНИИплем, 1999. - 148 с.
31. Петухов В. Л., Жигачев А. И., Назарова Г. А. Ветеринарная генетика с основами вариационной статистики.- М.: Агропромиздат, 1985.-369 с.
32. Нургалиева М. Т., Тойшиманов М. Р., Сериков М. С., Мырзабаева Н. Е., Хастаева А. Ж. Калибровка газохроматографического прибора для определения жирнокислотного состава пищевых

- продуктов // «Ізденістер, нәтижелер. Исследования, результаты».-2019.-№ 1(18) – С. 79–85.
33. Нечаев А. П. Пищевая химия / А. П. Нечаев и др.: под ред. А. П. Нечаева. – СПб.: ГИОРД, 2015. – 672 с. ISBN 978-5-98879-196-6.
34. Fehily, A.M.. Dietary indices of atherogenicity and thrombogenicity and ischemic heart disease risk: the Caerphilly Prospective Study // British Journal of Nutrition.-1994.-Vol.71(2)- P. 249–258. DOI 10.1079/bjn19940131
35. ВОЗ Здоровое питание Информационный бюллетень № 394 сентябрь 2015 г.
36. Перова Н. В., Метельская В. А., Соколов Е. И., Щукина Г. Н., Фомина В. М. Диетические жирные кислоты. Влияние на риск сердечно-сосудистых заболеваний // Рациональная аптекарь.- 2011.-№ 7(5). – С. 620–627.
37. Ulbricht, T.L.V., Southgate, D.A.T. Coronary heart disease: seven dietary factors // Lancet. – 1991.- Vol. 338(8773).- P. 985 - 992. DOI: 10.1016/0140-6736(91)91846-m
38. Tait, J.R., Reesy, Investigating opportunities available in genetic selection for healthy beef. 2007. <https://slideplayer.com/slide/4750876/>
39. Хастаева А.Ж., Альжаксина Н.Е., Сағымбаева Д.Е. Сүттің тағамдық құндылығына каппа-казеин генотипінің әсері // Шәкәрім университетінің хабаршысы. Техникалық ғылымдар сериясы. № 1(13). – 2024. - С. 273 – 280. DOI 10.53360/2788-7995-2024-1(13)-35
40. Емец З. В., Мирошникова О. С., Хруцкий С. С., Баско С. О. Воздействие факторов породы и отец на жирнокислотный состав молока коров // Serenity – Group. – 2017. – № 3-2(43). – С. 37–40.
41. Андрианов Ю. П., Вышемирский Ф. А., Качераускис Д. В. Производства сливочного масла: Справочник; под ред. д.т.н. Ф. А. Вышемирского. – М.: Агропромиздат, 1988. – 303 с.

References

- Judahina M. A., Tabakov N. A. Vlijanie skarmlivanija pljushhenogo jachmenja dojnym korovam no molochnuju produktivnost' i kachestvo produktov pererabotki moloka // Vestnik krasnojarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Krasnojarsk, 2011.- № 8(59). - S. 172 - 175.[in Russ.]
- Fenelon M. A., and Guinee T. P. The effect of milk fat on Cheddar cheese yield and its prediction, using modifications of the van Slyke cheese yield formula // J. Dairy Sci. – 1999. – № 82(11).- P. 2287 - 2299. DOI.10.3168/jds.S0022-0302(99)75477-9
- Esposito G., Masucci F., Napolitano F., Braghieri A., Romano R., Manzo N., and Di Francia A. Fatty acid and sensory profiles of Caciocavallo cheese as affected by management system // J. Dairy Sci. - 2014.-№ 97(4). -P. 1918-1928. DOI 10.3168/jds.2013-7292
- Martini M., Salari F., and Altomonte I. The macrostructure of milk lipids: The fat globules // Crit. Rev. Food Sci. Nutr.- 2016. -№ 56(7).-P.1209-1221. DOI 10.1080/10408398.2012.758626
- Ivanov V. A., Tadzhiiev K. P. Sostav i tehnologicheskie svojstva moloka simmental'skih i simmental-golshtinskih pomesnyh korov//Agrarnoe obrazovanie i nauka.- Ekaterinburg.- 2014.- № 4.- S. 1 -7.[in Russ.]
- Lucey J. A. Raw milk consumption. Risks and benefits // Nutr. Today. 2015.-Vol. 50(4).- P. 189 - 193. DOI 10.1097/NT.000000000000108
- Bujanova I. V., D'jachenko S. A. Trebovanija k syr'ju i gotovoj produkcii v syrodellii altajskogo kraja // Tehnika i tehnologija pishhevych proizvodstv. –Kemerovo.- 2013.- № 4. - S. 3 - 8.[in Russ.]
- Bilal G., Cue R. I., Mustafa A. F., and Hayes J. F. Short communication: Genetic parameters of individual

-
- fatty acids in milk of Canadian Holsteins // *J. DairySci.*- 2014.-Vol.97(2).- P.1150-1156.
DOI 10.3168/jds.2012-6508
9. Loginova T.P., Vorob'eva N.P.Faza moloka-syr'ja u korov razlichnoj selekcii v OOO «Plemzavod im.Lenina»// *Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii.*-2016.-№ 2.- S.145-150. [in Russ.]DOI 10.18286/1816-4501-2016-2-145-150
10. Parodi P. Milk fat in human nutrition // *Australian J. Dairy. Technol.* -2004.-Vol. 59.- P.3-59.
11. Topnikova E. V., Gorshkova E. I., Merkulova M. I. Issledovanie sostava zhirnyh kislot molochnogo masla // *Syrodelie i maslodellie.*- 2013.-№ 3.- S. 47 - 49. [in Russ.]
12. Shingfield K. J., Bonnet M., and Scollan N. D. Recent developments in altering the fatty acid composition of ruminant-derived foods // *Animal (Suppl)*-2013.- Vol. 7(1).-P. 132-162.
DOI 10.1017/S1751731112001681
13. Nullo E., Frigo E., Rossoni A., Finocchiaro R., Serra M., Rizzi N., Samore A. B., Canavesi F., Strillacci M. G., Prinsen R. T. M. M., Bagnato A. Genetic parameters of fatty acids in Italian Brown Swiss and Holstein cows // *Ital. J. Anim. Sci.*-2014.- Vol.13(3).- P. 397-403.DOI 10.4081/ijas.2014.3208
14. Pulina G., Francesconi A. H. D., Stefanon B., Sevi A., Calamari L., Lacetera N., Dell'Orto V., Pilla F., Marsan P. A., Mele M., Rossi F., Bertoni G., Crovetto G. M., and Ronchi B. Sustainable ruminant production to help feed the planet // *Ital. J. Anim. Sci.*- 2017.- Vol.16(1).-P. 140-171.
DOI 10.1080/1828051X.2016.1260500
15. Schwingshackl L., and Hoffmann G. Monounsaturated fatty acids and risk of cardiovascular disease: Synopsis of the evidence available from systematic reviews and meta-analyses // *Nutrients* -2012.- Vol. 4(12)- P. 1989–2007. DOI 10.3390/nu4121989
16. Food and Agriculture Organization. (2010). *Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation.* FAO Food Nutr. -166 p. ISBN 978-92-5-106733-8
17. Li C., Sun D., Zhang S., Wang S., Wu X., Zhang Q., Liu L., Li Y., and Qiao L. Genome wide association study identifies 20 novel promising genes associated with milk fatty acid traits in Chinese Holstein // *PLoS One* – 2014- Vol. 9 (5). - P. 96-186. DOI 10.1371/journal.pone.0096186
18. Zhang, W., Zhang, J., Cui, L., Ma, J., Chen, C., Ai, H., Xie, X., Li, L., Xiao, S., Huang, L., Ren, J., Yang, B. Genetic architecture of fatty acid compositions in the longissimus dorsi muscle revealed by genome-wide association studies on diverse pig populations // *Genetics Selection Evolution.*-2016.-№ 48 (5).- P. 1-10. DOI 10.1186/s12711-016-0184-2
19. Dobrjan E. I., Jurova E. A., Zhizhin N. A. Funkcional'nye molochnye produkty, obogoshhennye polinenasysyhennymi zhirnymi kislotami semejstva omega-3 i omega-6 // *Molochnaja promyshlennost'.*- 2013.-№ 11.- S. 45 - 46. [in Russ.]
20. Perova N. V., Metel'skaja V. A., Sokolov E. I., Shhukina G. N., Fomina V. M. Dieticheskie zhirnye kisloty. Vlijanie na risk serdechno-sosudistyh zabojevanij // *Racional'naja aptekar'.*-2011.-№ 7(5).- S. 620 - 627. [in Russ.]
21. Hromova L. G., A. V. Vostroilov, N. V. Bajlova. *Molochnoe delo: Uchebnik* – SPB.: Izdatel'stvo «Lan'», 2022. - 332 s. ISBN 978-5-507-44239-3[in Russ.]
22. Stoop, W.M., van Arendonk, J.A.M., Heck, J.M.L., Valenberg, H.J.F., Bovenhuis, H. Genetic parameters for major milk fatty acids and milk production traits of Dutch Holstein Friesians // *Journal of Dairy Science.*-2008.- Vol. 91(1).-P. 385 - 394. DOI 10.3168/jds.2007-0181
23. Narukami, T., Sasazaki, S., Oyama, K., Nogi, T., Taniguchi, M., Mannen, H. Effect of DNA polymorphisms related to fatty acid composition in adipose tissue of Holstein cattle // *Animal*
-

- Science Journal. -2011.-Vol. 82(3).- P. 406- 411. DOI 10.1111/j.1740-0929.2010.00855.x
24. Kalashnikova L. A., Trufanov V. G. Vlijanie genotipa kappa-kazeina na molochnuju produktivnost' i tehnologicheskie svojstva moloka korov holmogroskoj porody // Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk.-2006.- № 4.- S. 43 - 44. [in Russ.]
25. Tjul'kin S. V., Ahmetov T. M., Zagidullin L. R., Rachkova E. N., Shajdullin S. F., Gil'manov H. H. Polimorfizm gena kappa-kazeina v stadah krupno rogatogo skota Respubliki Tatarstan // Uchenye zapiski KGAVM im. N. Je. Baumana. -2016. – T. 255, № 1. – S. 148–151. [in Russ.]
26. Pavlova N. I., Filippova N. P., Kurtanov H. A., Korjakina L. P. Ocenka allel'nogo i genotipicheskogo raznoobrazija krupnogo rogatogo skota Jakutii po genam molochnosti // Nauka i obrazovanie.- 2016.-№ 3.- S. 122-127. [in Russ.]
27. Khaizaran, Z., Al-Razem, F. Analysis of selected milk traits in Palestinian Holstein-Friesian cattle in relation to genetic polymorphism // Journal of Cell and Animal Biology.-2014. -Vol. 8(5).- P. 74 - 85. DOI 10.5897/JCAB2014.0409
28. Ovsjanikov A. I. Osnovy opytnogo dela v zhivotnovodstve. – M.: Kolos, 1976.- 303 s. [in Russ.]
29. Dunin I. M., Pereverzev D. B., Kozankov A. G. Provedenie nauchnyh issledovanij v skotovodstve: Metodicheskie rekomendacii.- M., 2000.-80 s.ISBN 5-87958-126-8.[in Russ.]
30. Kalashnikova L. A., Dunin I. M., Glazko V. I., Ryzhova N. V., Golubina E. P. DNK-tehnologii ocenki sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh.-Lesnye Poljany: VNIIPlem, 1999. - 148 s. [in Russ.]
31. Petuhov V. L., Zhigachev A. I., Nazarova G. A. Veterinarnaja genetika s osnovami variacionnoj statistiki.- M.: Agropromizdat, 1985.-369 s. [in Russ.]
32. Nurgalieva M. T., Tojshimanov M. R., Serikov M. S., Myrzabaeva N. E., Hastaeva A. Zh. Kalibrovka gazohromatograficheskogo pribora dlja opredelenija zhirnokislотного состава pishhevyyh produktov // «Izdenister, nәtizheler. Issledovaniya, rezul'taty».-2019.-№ 1(18) – S. 79–85. [in Russ.]
33. Nechaev A. P. Pishhevaja himija / A. P. Nechaev i dr.: pod red. A. P. Nechaeva. – SPb.: GIORД, 2015. – 672 s. ISBN 978-5-98879-196-6. [in Russ.]
34. Fehily, A.M.. Dietary indices of atherogenicity and thrombogenicity and ischemic heart disease risk: the Caerphilly Prospective Study // British Journal of Nutrition.-1994.-Vol.71(2)- P. 249–258. DOI 10.1079/bjn19940131
35. VOZ Zdorovoe pitanie Informacionnyj bjulleten' № 394 sentjabr' 2015 g. [in Russ.]
36. Perova N. V., Metel'skaja V. A., Sokolov E. I., Shhukina G. N., Fomina V. M. Dieticheskie zhirnye kisloty. Vlijanie na risk serdechno-sosudistyh zabolovanij // Racional'naja aptekar'.- 2011.-№ 7(5). - S. 620-627. [in Russ.]
38. Tait, J.R., Reecu, Investigating opportunities available in genetic selection for healthy beef. 2007. <https://slideplayer.com/slide/4750876/>
39. Hastaeva A.Zh., Al'zhaksina N.E., Sařymbaeva D.E. Syttiң tařamdyқ kыndylyřyna kappa-kazein genotipiniң әseri // Shәkәrim universitetiniң habarshysy. Tehnikalyқ ғыlymdar serijasy. № 1(13). – 2024. - S. 273 -280. DOI 10.53360/2788-7995-2024-1(13)-35 [in Kazakh.]
40. Emec Z. V., Miroshnikova O. S., Hruckij S. S., Basko S. O. Vozdejstvie faktorov porody i otec na zhironkislотnyj sostav moloka korov // Serenity -Group.- 2017.-№ 3-2(43).- S. 37-40. [in Russ.]
41. Andrianov Ju. P., Vyshemirskij F. A., Kacherauskis D. V. Proizvodstva slivochnogo masla: Spravochnik; pod red. d.t.n. F. A. Vyshemirskogo.-M.: Agropromizdat, 1988. -303 s. [in Russ.]

Автор туралы мәліметтер

Хастаева А.Ж.– Phd, Қ.Құлажанов атындағы қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: gera_or@mail.ru.

Information about authors

Khastayeva A. – Phd, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: gera_or@mail.ru.

ENHANCING QUALITY AND SHELF LIFE OF ORGANIC SAUSAGES WITH PURSLANE POWDER

K. Makangali✉, G. Ospankulova, G. Tokysheva

NJSC «S.Seifullin Kazakh agrotechnical research University», Astana, Kazakhstan

✉Corresponding author: kmakangali@mail.ru

This study investigates the effects of adding purslane powder (*Portulaca oleracea*) to organic sausages made from organic beef, focusing on physicochemical properties, sensory characteristics, and microbiological stability. The use of natural additives is crucial in organic sausage production due to restrictions on synthetic preservatives and sodium nitrite. Samples were prepared with 0.8%, 1.2%, and 1.4% purslane powder and compared to a control without purslane. Results showed that purslane powder significantly improved moisture retention, with the highest levels observed in the 1.2% and 1.4% samples. pH values remained stable across all samples, indicating effective acidity regulation. Water activity (*a_w*) values were consistent, ensuring microbiological safety. The total viable count (TVC) was significantly lower in samples with purslane, particularly at 1.2% and 1.4% concentrations, compared to the control. Sensory analysis indicated that the sample with 1.2% purslane maintained high scores similar to the control, while the 1.4% sample exhibited a bitter taste and greenish tint, negatively affecting its sensory attributes. The use of organic beef aligns with consumer demand for natural and healthy products, providing high-quality protein without synthetic additives. Purslane powder, known for its antioxidant and antimicrobial properties, proved to be an effective natural additive for improving the quality and shelf life of organic sausages. The optimal concentration of 1.2% purslane is recommended, offering a balance between enhanced physicochemical properties and favorable sensory characteristics. This study supports the use of natural additives in organic meat products, promoting healthier and more sustainable food options.

Keywords: organic sausages, purslane powder, physicochemical properties, sensory analysis, microbiological stability, natural additives.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА И СРОКА ГОДНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ КОЛБАС С ПОМОЩЬЮ ПОРОШКА ПОРТУЛАКА

К.К. Макангали✉, Г.Х. Оспанкулова, Г.М. Токышева

НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина», Астана, Казахстан,

e-mail: kmakangali@mail.ru

Исследование изучает влияние добавления порошка портулака (*Portulaca oleracea*) в органические колбасы, изготовленные из органической говядины, с акцентом на физико-химические свойства, сенсорные характеристики и микробиологическую стабильность. Использование натуральных добавок имеет решающее значение в производстве органических колбас из-за ограничений на синтетические консерванты и нитрит натрия. Были подготовлены образцы с 0,8%, 1,2% и 1,4% порошка портулака и сравнены с контрольным образцом без портулака. Результаты показали, что порошок портулака значительно улучшил удержание влаги, при этом самые высокие уровни наблюдались в образцах с 1,2% и 1,4%. Значения pH оставались стабильными во всех образцах, что указывает на эффективное

регулирование кислотности. Значения активности воды (a_w) были постоянными, что обеспечивало микробиологическую безопасность. Общее количество жизнеспособных бактерий (КМАФАнМ) было значительно ниже в образцах с портулаком, особенно при концентрациях 1,2% и 1,4%, по сравнению с контрольным образцом. Сенсорный анализ показал, что образец с 1,2% портулака сохранял высокие оценки, аналогичные контрольному, тогда как образец с 1,4% портулака имел горький вкус и зеленоватый оттенок, что отрицательно сказалось на его сенсорных характеристиках. Использование органической говядины соответствует потребительскому спросу на натуральные и полезные продукты, обеспечивая высококачественный белок без синтетических добавок. Порошок портулака, известный своими антиоксидантными и антимикробными свойствами, оказался эффективной натуральной добавкой для улучшения качества и срока годности органических колбас. Рекомендуется оптимальная концентрация 1,2% портулака, обеспечивающая баланс между улучшенными физико-химическими свойствами и благоприятными сенсорными характеристиками. Это исследование поддерживает использование натуральных добавок в органических мясных продуктах, способствуя продвижению более здоровых и устойчивых вариантов питания.

Ключевые слова: органические колбасы, порошок портулака, физико-химические свойства, сенсорный анализ, микробиологическая стабильность, натуральные добавки.

ПОРТУЛАК ҰНТАҒЫ ҚОСЫЛҒАН ОРГАНИКАЛЫҚ ШҰЖЫҚТАРДЫҢ САПАСЫ МЕН САҚТАУ МЕРЗІМІН ЖАҚСARTY

Қ.Қ. Мақанғали✉, Г.Х. Оспанкулова, Г.М. Тоқышева

«С.Сейфуллина атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан,
e-mail: kmakangali@mail.ru

Зерттеу физикалық-химиялық қасиеттерге, сенсорлық сипаттамаларға және микробиологиялық тұрақтылыққа назар аударып, органикалық сиыр етінен жасалған органикалық шұжықтарға портулак ұнтағын (*Portulaca oleracea*) қосудың әсерін зерттейді. Табиғи қоспаларды қолдану синтетикалық консерванттар мен натрий нитритіне шектеулерге байланысты органикалық шұжық өндірісінде өте маңызды. Үлгілер 0,8%, 1,2% және 1,4% портулак ұнтағымен дайындалды және портулаксыз бақылаумен салыстырылды. Нәтижелер портулак ұнтағы ылғалдың сақталуын айтарлықтай жақсартқанын көрсетті, ең жоғары деңгейлер 1,2% және 1,4% үлгілерде байқалды. рН мәндері барлық үлгілерде тұрақты болып қалды, бұл қышқылдықтың тиімді реттелуін көрсетеді. Су белсенділігінің (a_w) көрсеткіштері микробиологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз ете отырып, сәйкес болды. Жалпы өміршеңдік көрсеткіші (TVC) портулак сынамаларында айтарлықтай төмен болды, әсіресе бақылаумен салыстырғанда 1,2% және 1,4% концентрацияда. Сенсорлық талдау көрсеткендей, 1,2% портулак сынамасы бақылауға ұқсас жоғары балл жинады, ал 1,4% сынамада ащы дәм мен жасыл реңк байқалды, бұл оның сенсорлық қасиеттеріне теріс әсер етті. Органикалық сиыр етін пайдалану тұтынушылардың табиғи және пайдалы өнімдерге деген сұранысына сәйкес келеді, синтетикалық қоспаларсыз жоғары сапалы ақуызды қамтамасыз етеді. Антиоксиданттық және микробқа қарсы қасиеттерімен танымал портулак ұнтағы органикалық шұжықтардың сапасы мен сақтау мерзімін жақсарту үшін тиімді табиғи қоспа болып шықты. Жақсартылған физика-химиялық қасиеттері мен қолайлы сенсорлық сипаттамалары арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ететін 1,2% портулактың оңтайлы концентрациясы ұсынылады. Бұл зерттеу органикалық ет өнімдерінде табиғи қоспаларды қолдануды қолдайды, бұл тағамның пайдалы және тұрақты нұсқаларын жасауға ықпал етеді.

Түйін сөздер: органикалық шұжықтар, портулак ұнтағы, физика-химиялық қасиеттері, сенсорлық анализі, микробиологиялық тұрақтылығы, табиғи қоспалары.

Introduction. In recent years, the interest in organic food products has significantly increased due to their presumed health benefits and lower environmental impact. One of the promising directions in the organic production of meat products is the use of natural additives, such as plant extracts and powders, to improve the quality and safety of the products. In this context, purslane powder (*Portulaca oleracea*) is of particular interest, as it possesses a range of beneficial properties, including antioxidant and antimicrobial activity [1].

The global market for organic food has been experiencing steady growth, driven by consumer awareness and demand for healthier and more environmentally friendly food options. According to recent reports, the market for organic products is projected to continue expanding, with significant investments being made in research and development of organic farming and production techniques [2, 3].

Natural additives have gained considerable attention in the food industry due to their potential to enhance food quality and safety. Plant-based extracts and powders, in particular, are being extensively studied for their bioactive compounds that can act as natural preservatives and health enhancers. Studies have shown that these natural additives can improve the sensory attributes of food, extend shelf life, and reduce the need for synthetic additives [4,5].

Purslane (*Portulaca oleracea*) is a succulent plant widely recognized for its nutritional and medicinal properties. It is rich in omega-3 fatty acids, vitamins, minerals, and bioactive compounds such as phenolics and flavonoids. Previous research has highlighted its antioxidant properties, which can help in preventing oxidative deterioration of food products. Moreover, its antimicrobial activity has been reported to inhibit the growth of various foodborne pathogens, making it a promising natural additive for food preservation [6,7].

Water activity (a_w) is a crucial parameter in determining the shelf life and safety of food products. It measures the availability of free water for microbial growth and chemical reactions. High water activity in food can lead to the proliferation

of spoilage and pathogenic microorganisms, which adversely affects the product's quality and safety. Therefore, controlling water activity is essential in the production of meat products, especially organic ones, to ensure their microbiological stability and extend their shelf life [8,9].

The use of natural additives like purslane powder in meat products can potentially regulate water activity and enhance antimicrobial properties. Purslane contains phenolic compounds and flavonoids that exhibit significant antimicrobial potential, which can contribute to maintaining the microbiological quality of the product [10].

The aim of this study is to comprehensively evaluate the effect of purslane powder on water activity and antimicrobial activity in organic sausages. The determination of the influence of different concentrations of purslane powder on water activity (a_w) in organic sausages was measured using the AquaLab 4TE analyzer (METER Group, USA) to ensure accuracy and reliability of the results. The analysis of changes in physicochemical indicators (moisture, pH) and their impact on the microbiological stability of the products during storage was conducted. The moisture content and pH in sausage samples with added purslane powder were analyzed (Tango-R FT-NIR spectrometer, Bruker, Germany), as well as their changes during storage (Table 1).

Materials and methods. Moisture Content and pH Measurement. The moisture content and pH of the sausage samples were determined using the Tango-R FT-NIR spectrometer (Bruker, Germany). Approximately 10 grams of each sausage sample were homogenized, and the homogenate was analyzed using the FT-NIR spectrometer. This technique allows for rapid and non-destructive analysis of moisture and pH by measuring the near-infrared absorption spectra of the samples. The instrument was calibrated using standard reference materials to ensure accuracy. The moisture content and pH values were obtained from the spectral data using the instrument's software.

Water Activity (a_w) Measurement. Water activity (a_w) of the sausage samples was measured using the AquaLab 4TE water activity meter (METER Group,

USA). Approximately 2 grams of each sample were placed in the sample cup, ensuring that the sample surface was level and free from air pockets. The sample cup was then placed in the measurement chamber of the AquaLab, and the aw value was recorded once the reading stabilized. The instrument was calibrated regularly using standard calibration salts (aw 0.760 and aw 0.920) to ensure accuracy and reliability of the results.

Antimicrobial Activity Analysis. To evaluate the antimicrobial activity of the purslane powder in the sausage samples, microbiological analysis was conducted. The total viable count (TVC) was assessed using Compact Dry plates (Nissui Pharmaceutical Co., Ltd., Japan). Sausage samples were homogenized in sterile saline solution and serially diluted. An aliquot (1 ml) of the diluted sample was applied to the Compact Dry plate and spread evenly. The plates were incubated at 35°C for 48 hours, after which the colony-forming units (CFU) were counted. The results were expressed as log CFU per gram of sausage.

Statistical Analysis. All experiments were conducted in triplicate, and the results were expressed as mean ± standard deviation. Statistical analysis was performed using ANOVA (Analysis of Variance) to determine the significance of differences between the control and experimental samples. A p-value of less than 0.05 was considered statistically significant.

Results and discussion. The moisture content of the sausage samples showed a general decrease over the storage period for both the control and experimental samples. However, the experimental samples with purslane powder exhibited higher moisture retention compared to the control. For instance, at 9 days, the control sample had a moisture content of 54.9%, whereas the samples with 0.8%, 1.2%, and 1.4% purslane powder had moisture contents of 57.2%, 58.7%, and 58.9%, respectively. This suggests that the addition of purslane powder helps in retaining moisture in the sausages, which could be beneficial for the texture and juiciness of the product (table 1).

Table 1 - Physicochemical parameters of control and experimental sausage samples with added purslane powder

Parameter	Storage, days	Control	Experiment 1 (0.8% purslane)	Experiment 2 (1.2% purslane)	Experiment 3 (1.4% purslane)
Moisture, %	1 day	63,67 ± 0,05	65,42 ± 0,06	67,34 ± 0,04	67,8 ± 0,05
	3 days	57,2 ± 0,13	59,1 ± 0,11	61,3 ± 0,10	62,7 ± 0,09
	6 days	55,6 ± 0,12	57,6 ± 0,12	59,3 ± 0,12	59,8 ± 0,10
	9 days	54,9 ± 0,13	57,2 ± 0,12	58,7 ± 0,11	58,9 ± 0,08
pH	1 day	6,37 ± 0,05	6,17 ± 0,12	6,15 ± 0,11	6,10 ± 0,09
	3 days	6,33 ± 0,06	6,19 ± 0,09	6,17 ± 0,08	6,13 ± 0,11
	6 days	6,27 ± 0,06	6,25 ± 0,05	6,27 ± 0,09	6,19 ± 0,06
	9 days	6,21 ± 0,06	6,24 ± 0,06	6,26 ± 0,12	6,21 ± 0,09
Water Activity (aw), c.u.	1 day	0,824± 0,003	0,825± 0,003	0,826± 0,003	0,825± 0,003
	3 days	0,827± 0,002	0,827± 0,002	0,827± 0,002	0,827± 0,002
	6 days	0,819± 0,002	0,824± 0,000	0,824± 0,002	0,824± 0,002
	9 days	0,816± 0,002	0,819± 0,002	0,821± 0,002	0,824± 0,002

The pH levels of the sausage samples decreased slightly over the storage period for all samples. The control sample started with a pH of 6.37 on day 1 and decreased to 6.21 by day 9. The experimental samples with purslane powder showed a similar

trend, with initial pH values slightly lower than the control. For example, the sample with 1.4% purslane powder had a pH of 6.10 on day 1, which remained relatively stable, ending at 6.21 on day 9. The slightly lower initial pH in the experimental samples could

be attributed to the acidic nature of the phenolic compounds in purslane powder.

The water activity (a_w) values for all samples remained relatively stable throughout the storage period, with minor variations. The control sample had an initial a_w of 0.824, which decreased to 0.816 by day 9. The experimental samples exhibited similar trends, with a_w values ranging from 0.825 to 0.824 over the same period. The consistent a_w values suggest that the addition of purslane powder does not significantly alter the water activity of the sausages, which is important for maintaining microbial stability.

The results indicate that the addition of purslane powder to organic sausages has a positive effect on moisture retention without significantly altering the pH and water activity. The higher moisture content in the experimental samples can contribute

to improved sensory properties such as texture and juiciness. The stable pH and water activity values suggest that the addition of purslane powder does not compromise the microbial stability of the sausages.

Therefore, the application of purslane powder in organic sausages resulted in the improvement of certain quality parameters, such as moisture content and maintenance of water activity, which can contribute to extending the product's shelf life. The impact on pH indicates that purslane may play a role in regulating the acidity of the product. Overall, the use of purslane as an additive in organic sausages has a positive effect, but further research is necessary to optimize its concentration and evaluate its long-term impact on the microbiological stability and organoleptic properties of the product.

In this context, we conducted a sensory analysis of the experimental sausage samples (fig.1).

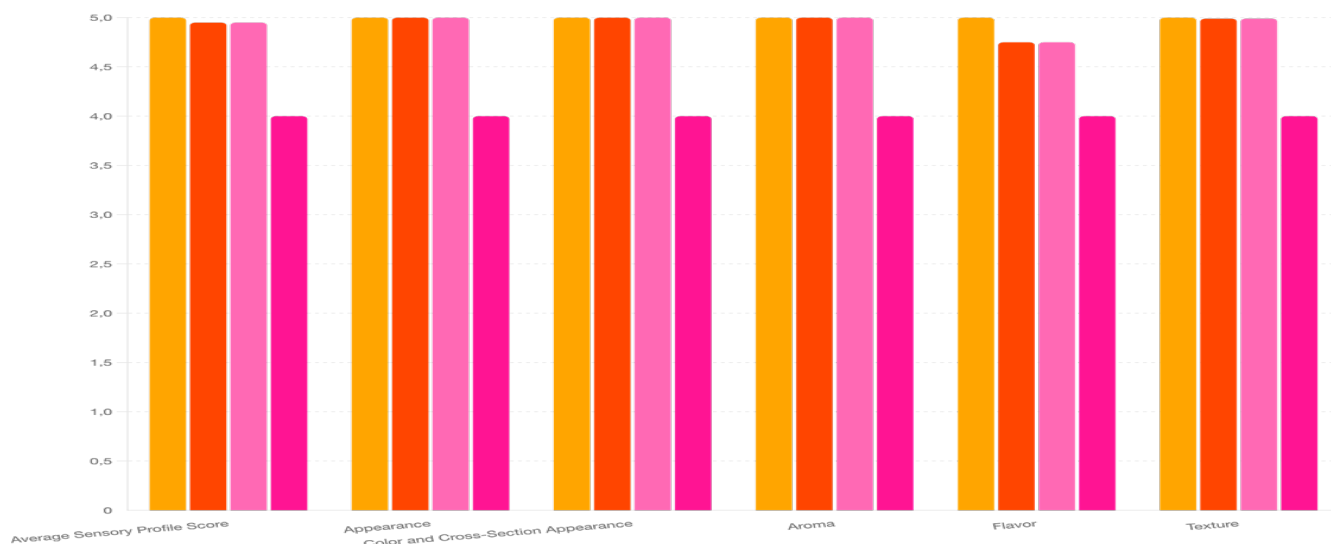


Figure 1 - Sensory analysis of control and experimental sausage samples with added purslane

The control sausage sample received the highest scores across all parameters (5.00). Samples with 0.8% and 1.2% purslane powder also received high scores, with negligible differences between them: the average sensory profile score was 4.95 for both samples. According to the results of the sensory analysis presented in the chart, the experimental samples 1 and 2 showed no significant differences from the control in terms of appearance, color, aroma, and flavor, receiving scores of 5.00, 5.00,

5.00, and 4.75, respectively. The texture was slightly lower (4.99) but still at a high level. The sample with 1.4% purslane showed a significant deterioration in all sensory characteristics, including the average score (4.00), appearance (4.00), color (4.00), aroma (4.00), flavor (4.00), and texture (4.00). These changes are associated with the emergence of a bitter taste and a greenish tint in the sausage, significantly affecting its appearance. Given the minimal differences between the samples with 0.8%

and 1.2% purslane, we decided to use experiment 2 with a concentration of 1.2% as the primary experiment, as it ensures high sensory scores without significant changes and provides the best physicochemical properties described above. Thus, adding 1.2% purslane to sausages maintains their quality and improves functional characteristics.

Microbiological safety and food quality are key aspects determining their suitability for consumption. One of the important indicators used to assess the microbiological quality of food products, including sausages, is the total viable count (TVC). This indicator allows for evaluating the

total number of microorganisms capable of growing and forming colonies under aerobic and facultative anaerobic conditions at moderate temperatures. In the context of growing demand for organic and natural products, the use of natural additives to improve microbiological stability and extend the shelf life of food products is becoming increasingly relevant. Purslane powder (*Portulaca oleracea*) is known for its antioxidant and antimicrobial properties, making it a promising additive for sausages. This study will help determine the optimal concentration of purslane powder to achieve the best microbiological indicators without compromising the organoleptic properties of the product (Table 2).

Table 2 - Study of total viable count (TVC) in experimental sausage samples

Parameter	Days	Control	Experiment 1 (0.8% purslane)	Experiment 2 (1.2% purslane)	Experiment 3 (1.4% purslane)
TVC, CFU/g	1	$1,39 \times 10^2$	$1,31 \times 10^2$	$1,11 \times 10^2$	$1,27 \times 10^2$
	4	$1,27 \times 10^3$	$1,47 \times 10^2$	$1,03 \times 10^2$	$1,01 \times 10^2$
	9	$1,43 \times 10^4$	$1,35 \times 10^3$	$1,19 \times 10^3$	$1,05 \times 10^3$

On the first day, all samples showed similar initial levels of TVC, with slight differences. The lowest number of bacteria was recorded in the sample with 1.2% purslane (1.11×10^2 CFU/g). After 4 days, the number of bacteria significantly increased in the control sample (1.27×10^3 CFU/g). Samples with the addition of purslane demonstrated much lower bacterial growth. The sample with 1.4% purslane showed the lowest number of bacteria (1.01×10^2 CFU/g), indicating a strong antimicrobial effect. After 9 days, the control sample showed a significant increase in bacteria (1.43×10^4 CFU/g), whereas the samples with purslane maintained lower TVC levels. The sample with 1.4% purslane again demonstrated the lowest number of bacteria (1.05×10^3 CFU/g). The addition of purslane powder to the sausages significantly reduces the number of viable bacteria compared to the control sample. The lowest number of bacteria was recorded in samples with 1.2% and 1.4% purslane, especially on days 4 and 9. Experiment 2 (1.2% purslane) was chosen as the primary one since it provides a significant reduction in bacterial load without noticeable deterioration in the sensory characteristics of the product. In

contrast, Experiment 3 (1.4% purslane) imparted a bitter taste and a greenish tint to the sausage, negatively affecting its appearance and flavor.

Conclusion. This study demonstrated that adding purslane powder (*Portulaca oleracea*) to organic sausages significantly improved their quality and shelf life. The experimental samples with purslane retained higher moisture levels and exhibited stable pH values, indicating enhanced product stability. Water activity remained consistent, ensuring microbiological safety. The total viable count (TVC) was significantly lower in samples with purslane, especially at 1.2% and 1.4% concentrations, compared to the control. Sensory analysis revealed that the sample with 1.2% purslane had high scores similar to the control, while 1.4% purslane negatively impacted flavor and appearance. Organic beef provided a high-quality protein source without synthetic additives, aligning with consumer demand for healthier products. Purslane powder, with its antioxidant and antimicrobial properties, proved to be an effective natural additive. The use of 1.2% purslane is recommended, offering a balance

between improved quality and sensory attributes. This natural approach supports the production of high-quality, organic sausages without synthetic preservatives.

Gratitude, conflict of interest (financing). This research is funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (BR21882327)

References

1. Dkhil M.A., Moneim A.E., Al-Quraishy S., Saleh R. Antioxidant effect of purslane (*Portulaca oleracea*) and its mechanism of action // *Journal of Medicinal Plants Research*. – 2011. – Vol. 5. – P. 1589-1593. <https://academicjournals.org/journal/JMPR/article-full-text-pdf/C1D5B4017817#:~:text=Purslane%20is%20a%20potent%20antioxidant,which%20act%20against%20oxidative%20stress>.
2. Willer H., Lernoud J. *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends*. Research Institute of Organic Agriculture FiBL // IFOAM Organics International. -2019. ISBN 978-3-03736-119-1
3. Dimitri, C., & Greene, C. Recent growth patterns in the US organic foods market // *Organic Agriculture*. -2016. – Vol. 6(4). – P. 299-310. DOI 10.22004/ag.econ.33715
4. Esrafil M., Akter S., Alam M., Alim M., Reza M.S., Zubair M.A., Joy P.R., Jahan M., Khatun M. Development and quality evaluation of novel biscuits by utilizing fruits and vegetables seed // *Food Research*. -2024. – Vol. 8(1). – P. 181-189. DOI 10.26656/fr.2017.8(1).090
5. Das S., Raychaudhuri U., Chakraborty R. Herbal fortification of bread with fennel seeds // *Food Technology and Biotechnology*. -2013. – Vol. 51(3). – P. 434-440. <https://hrcak.srce.hr/file/160840>
6. Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Dias, M. I., Vasilakoglou, I. B., Petrotos, K., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. Nutritional Value, Chemical Composition and Cytotoxic Properties of Common Purslane (*Portulaca oleracea* L.) // *Relation to Harvesting Stage and Plant Part*. In *Antioxidants*. -2019. – Vol. 8(8). – P. 293-465. DOI 10.3390/antiox8080293
7. Uddin M.K., Juraimi A.S., Hossain M.S., Nahar M.A.A., Ali M.E., Rahman M.M. (2014). Purslane weed (*Portulaca oleracea*): a prospective plant source of nutrition, omega-3 fatty acid, and antioxidant attributes. *The Scientific World Journal*, 2014. DOI:10.1155/2014/951019
8. Patarata L., Fernandes L., Silva J.A., Fraqueza M.J. The Risk of Salt Reduction in Dry-Cured Sausage Assessed by the Influence on Water Activity and the Survival of Salmonella // *Foods*. -2022. -Vol.11(30). -P.444. <https://doi.org/10.3390/foods11030444>
9. Barbosa-Canovas, G. V., Fontana, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (Eds.). (2020). *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications/ Wiley*.- 616 P. ISBN (electronic)-9781118765982, ISBN (print-9781118768316
10. Rashed, A. N., Afifi, F. U., & Disi, A. M. Simple evaluation of the wound healing activity of a crude extract of *Portulaca oleracea* L. (growing in Jordan) in *Mus musculus* JVI-1 // *Journal of Ethnopharmacology*.-2003.-Vol. 88(2-3).-P. 131-136. DOI: 10.1016/s0378-8741(03)00194-6

Information about the authors

K. Makangali - PhD, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana, Kazakhstan, e-mail: kmakangali@mail.ru;

G. Ospankulova - candidate of biological sciences, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana, Kazakhstan, e-mail: bulashevag@mail.ru;

G. Tokysheva - PhD, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Astana, Kazakhstan, e-mail: tokisheva_g@mail.ru

Сведения об авторах

Макангали К.К. - PhD, Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: kmakangali@mail.ru

Оспанкулова Г.Х. - к.б.н., Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: bulashevag@mail.ru;

Токышева Г.М. - PhD, Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: tokisheva_g@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И АНАЛИЗ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ МЯСА КОНИНЫ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

А.Т. Костанова✉, Ш.Б. Байтуkenова, С.Б. Байтуkenова

НАО «Казакский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», Астана,
Казакстан,

АО «Казакский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казакстан

✉ Корреспондент-автор: anel_kostanova@mail.ru

В данной статье рассмотрены современные тенденции и анализ по переработке мяса конины в Казакстане. Проведен анализ динамики численности лошадей во всех категориях. В условиях современного рынка экономическая эффективность зависит от ряда факторов, в частности, от рационального применения имеющихся ресурсов, образующих стратегическую конкурентоспособность отрасли, о чем свидетельствуют высокие результаты зарубежного использования ресурсов коневодства. В связи с этим были выявлены внутренние и внешние факторы откорма и переработки мяса, влияющие на развитие отрасли. В исследовании представлен независимый всесторонний анализ рынка с использованием различных источников официальных данных, который отображает текущую ситуацию на рынке содержания, откорма и переработки конины, оценивает потенциал развития рынка, рассчитывает все основные ключевые показатели и является хорошим инструментом для принятия решений при стратегическом планировании и инвестировании.

Ключевые слова: коневодство, конина, национальная экономика, ресурсы, развитие рынка.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ЖЫЛҚЫ ЕТІН ӨНДЕУДЕГІ ЗАМАНАУИ БАҒЫТТАРЫ МЕН ТАЛДАУЫ

А.Т. Костанова✉, Ш.Б. Байтуkenова, С.Б. Байтуkenова

«С. Сейфуллин атындағы Қазак агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Астана қ., Қазакстан,
«Қ. Құлажанов атындағы Қазак технология және бизнес университеті» АҚ, Астана қ., Қазакстан,

e-mail: anel_kostanova@mail.ru

Бұл мақалада Қазакстандағы жылқы ет өндеу бойынша заманауи үрдістер мен талдау қарастырылған. Барлық санаттағы жылқылар санының динамикасына талдау жүргізілді. Қазіргі нарық жағдайында экономикалық тиімділік бірқатар факторларға, атап айтқанда, саланың стратегиялық бәсекеге қабілеттілігін құрайтын қолда бар ресурстарды ұтымды пайдалануға байланысты, бұған жылқы шаруашылығы ресурстарын шетелдік пайдаланудың жоғары нәтижелері дәлел бола алады. Осыған байланысты саланың дамуына әсер ететін етті бордақылау мен өндеудің ішкі және сыртқы факторлары анықталды. Зерттеу жылқы етін ұстау, бордақылау және қайта өндеу нарығындағы ағымдағы жағдайды көрсететін, нарықтың даму әлеуетін бағалайтын, барлық негізгі көрсеткіштерді есептейтін және стратегиялық жоспарлау мен инвестициялау кезінде шешім қабылдаудың жақсы құралы болып табылатын әртүрлі ресми деректер көздерін пайдалана отырып, нарықтың тәуелсіз жан-жақты талдауын ұсынады.

Түйін сөздер: жылқы шаруашылығы, жылқы еті, ұлттық экономика, ресурстар, нарықты дамыту.

CURRENT TRENDS AND ANALYSIS OF HORSE MEAT PROCESSING IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

A.T. Kostanova✉, Sh.B. Baitukenova, S.B. Baitukenova

«S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University» NJSC, Astana city, Kazakhstan,
«Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov» JSC, Astana city,
Kazakhstan

e-mail: anel_kostanova@mail.ru

This article discusses current trends and analysis of horse meat processing in Kazakhstan. The analysis of the dynamics of the number of horses in all categories was carried out. In the conditions of the modern market, economic efficiency depends on a number of factors, in particular, on the rational use of available resources that form the strategic competitiveness of the industry, as evidenced by the high results of foreign use of horse breeding resources. In this regard, internal and external factors of fattening and processing of meat affecting the development of the industry were identified. The study presents an independent comprehensive market analysis using various sources of official data, which reflects the current situation in the market of horse meat keeping, fattening and processing, assesses the potential for market development, calculates all the main key indicators and is a good tool for decision-making in strategic planning and investment.

Keywords: horse breeding, horse meat, national economy, resources; market development.

Введение. Коневодство разведение лошадей, одна из древнейших отраслей животноводства. Коневодство как раздел частной зоотехники, базируется на иппологии. Современное коневодство обладает сведениями по эмбриологии, популяционной генетике, имуногенетике, полиморфизму ДНК, описаниями генома лошади, разработаны методы криоконсервации спермы и трансплантации эмбрионов, методики регуляции окислительно-восстановительных процессов в организме спортивных лошадей, управления селекционным процессом в породах.

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) в мире насчитывается около 60 млн голов лошадей. В настоящее время конина успешно конкурирует с мясом других видов животных в рационе населения не только Франции, но и Бельгии, Швеции, Норвегии, Турции, Дании, Италии, Японии и др. Среди европейских стран Бельгия выделяется наибольшим потреблением конины на душу населения (в 7-8 раз превышает потребление баранины). Спрос на мясных лошадей, мороженую и охлажденную конину на мировом рынке в по-

следние годы систематически растет. Распределение поголовья лошадей по континентам выглядит следующим образом: в Азии – 21,8 млн голов, в Европе – 7,7 млн голов, в Северной и Центральной Америке – 26,1 млн голов, в Африке – 3,9 млн голов, в Океании – 0,5 млн голов (Рисунок 1).

Из наиболее перспективных стран в развитии козоводства считаются США (10 млн голов), Китае (7,34 млн голов), Мексике (6,4 млн голов), Бразилии (6,0 млн голов), Монголии (4,1 млн голов), Аргентине (2,5 млн голов). На Американском континенте это такие страны как Мексика, Бразилия, Аргентина. В Европе – Балканские страны и страны Средиземноморья [1].

В настоящее время на предприятиях мясной промышленности Казахстана выпускается разнообразный ассортимент изделий из конины, в том числе конские вареные мясные продукты и разнообразные национальные изделия. Видовые особенности конины определяют необходимость специального исследования для интенсификации технологических процессов и улучшения качества готовой продукции.

Национальная экономика любой страны является сложной хозяйственной, социальной, организационной и научно-технической системой. В ее основе исторически сложившаяся структура общественного воспроизводства.



Рис. 1 - поголовье лошадей по континентам

В развитии национальной экономики особую роль играют отрасли промышленности. Отрасль промышленности является комплексом предприятий, который имеют однотипное экономическое назначение производимой продукции, общую техническую базу, особый профессиональный состав работников, специфику работы, используют однородные потребляемые материалы и характеризуются однотипностью технологических процессов. Иными словами, отрасль промышленности объединяет предприятия, которые производят однородную продукцию, используют похожие технологии и имеют свой круг потребителей.

Анализ состояния перерабатывающей промышленности в рамках исследования был проведен на примере мясной отрасли. Мясная промышленность – отрасль пищевой промышленности, перерабатывающая скот. По данным агентства статистики Министерства национальной экономики Республики Казахстан по состоянию на 1 июня 2023 года в Казахстане распределение численности скота в Казахстане: овец – 25,9 млн голов (57%); крупного рогатого скота – 10,5 млн голов (23%); лошадей – 4,5 млн голов (10%); коз – 3,2 млн голов (7%); верблюдов – 292 тыс. голов (1%) (Рисунок 2) [2].

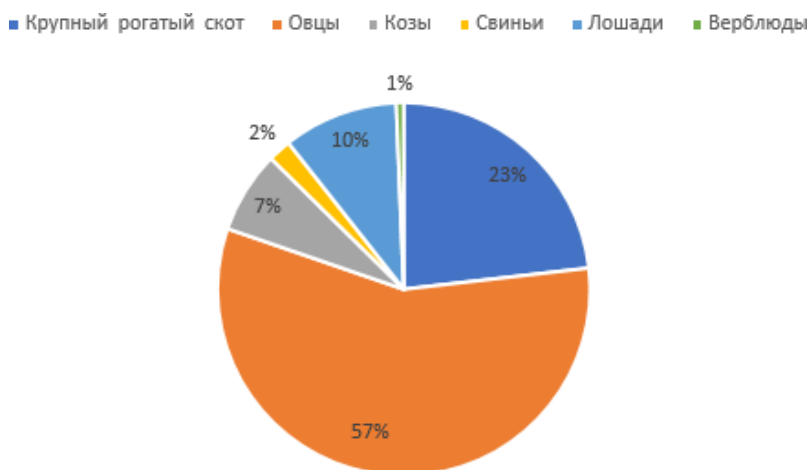


Рис. 2 - Численность скота по состоянию на 1 июня 2023 г. в Казахстане

Современная экономика Казахстана ведет свой отсчет с 1991 года, когда произошел распад СССР. С этого момента страна взяла курс на модернизацию экономики, а также на интеграцию в экономическое пространство. В Казахстане плановая рыночная модель экономики, которая в настоящее время интенсивно развивается. Казахстан активно наращивает собственное производство, прежде всего, развивая пищевую промышленность, в частности мясную промышлен-

ность. Эта отрасль крайне важна, поскольку связана с производством сырья, материалов и продуктов, направленных на удовлетворение пищевых потребностей населения. Согласно динамике объема рынка конины в Казахстане в период 1991-2022 гг.: наибольшая прибавка поголовья лошадей в Казахстане наблюдается в 1999 г. – 127,2 тыс. голов, 2011 г. – 121,5, 1992 г. – 121,4 тыс.голов (Рисунок 3).

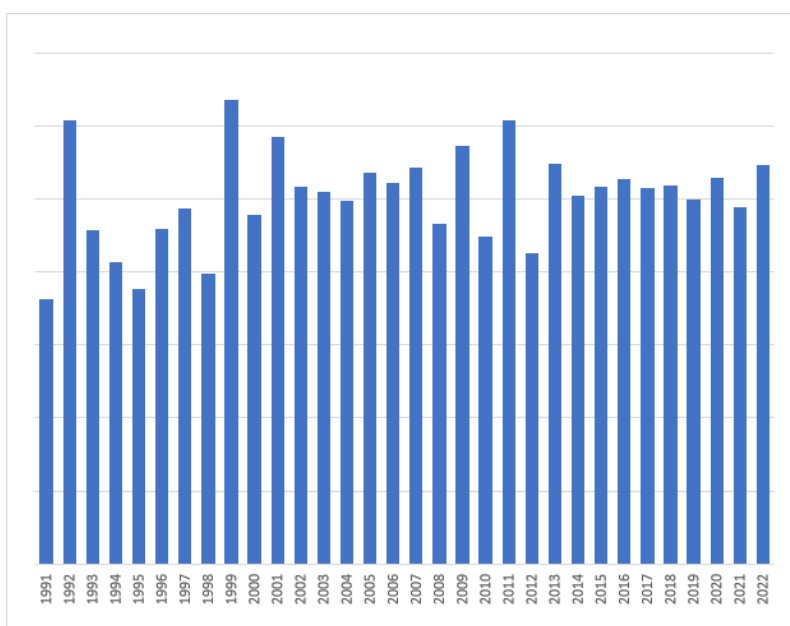


Рис. 3 - Динамика объема рынка конины в Казахстане в 1991-2022 гг., тыс.голов

Коневодство в Казахстане – это важный вид деятельности в сельском хозяйстве, которая в последнее время интенсивно развивается. Благодаря особым климатическим условиям, огромными запасами воды и большими пастбищными хозяйствами, Акмолинская область является подходящей для разведения лошадей. В 2023 году поголовье лошадей в областях составляло 4,5 млн голов, в том числе в сельскохозяйственных предприятиях 299 тыс. голов (6,7 %), у населения 1,9 млн голов (42,2 %), в крестьянских (фермерских) хозяйствах и у индивидуальных предпринимателей - 2,3 млн голов (51,1 %) [3].

Казахстан входит в первую десятку стран мира с наиболее развитым коневодством. В силу обширности территории, сложных дорожных усло-

вий, многообразия природно-климатических зон и национальных традиций использование лошадей в Казахстане остается многоплановым. Разводят свыше 40 пород, по данным СтатБюро (2023), общее поголовье составляет 1,303 млн, из них около 30% - продуктивные животные, около 4,5% - племенные и спортивные, остальные – рабоче-пользовательные. Основное поголовье находится во владении акционерных обществ, кооперативов, товариществ, фермерских и подсобных хозяйств. В структуре племенного коневодства действуют около 100 конных заводов, около 300 племенных ферм, государственные заводские конюшни и др. Всего насчитывается 1500 предприятий по разведению лошадей. Возрастают потребности в конине и кумысе, расширяется аре-

ал продуктивного коневодства. Стабильно вос-
требовано рабоче-пользовательное коневодство.
Научно-обоснованная потребность в поголовье

лошадей всех направлений использования в Ка-
захстане – свыше 6,2 млн голов [4].

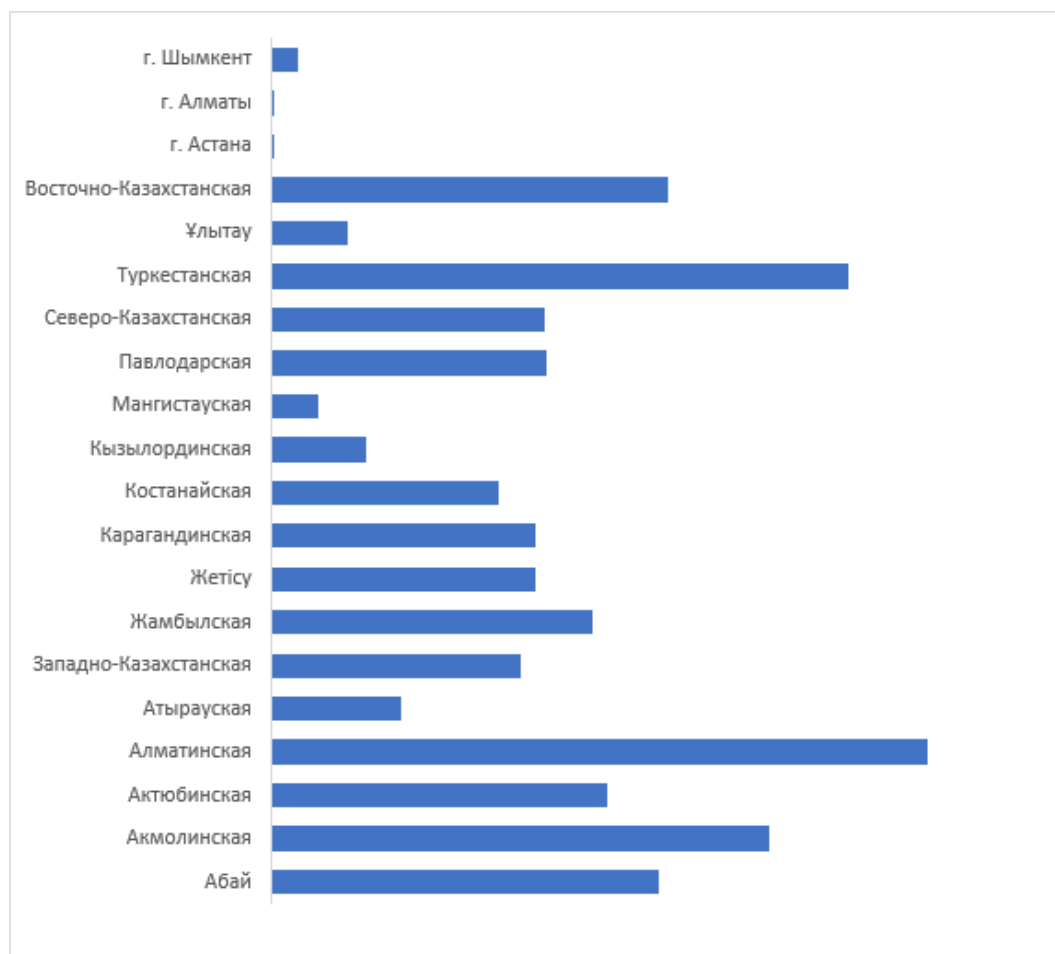


Рис. 4 - Численность поголовья лошадей по состоянию на 1 июня по Республике Казахстан, голов

Наибольшая прибавка поголовья лошадей в Казахстане наблюдается в двух регионах: Алматинская – 221,5 тыс. голов; Туркестанская – 194,8 тыс. голов (Рисунок 4).

Материалы и методы. ГОСТ 32225-2013 Лошади для убоя Конина и жеребятина в полутушах и четвертинах. Технические условия. Horses for slaughter. Horseflesh in semi-carcasses and quarters. Specifications [5].

ГОСТ 27095-86 Конина и жеребятина в полутушах и четвертинах Технические условия. Meat. Horse meat and young horse meat in half-carcasses and quarters. Specifications [6].

Результаты и обсуждение. В продоволь-

ственной программе Казахстана большое внимание уделяется развитию мясной промышленности. Поставлена задача увеличить мясные ресурсы за счет развития скотоводства, в том числе и коневодства.

Конина издавна имеет большое значение в питании населения Казахстана, Кыргызстане, Якутии, Бурятии, Узбекистане, Татарстане, Башкортостане. Она является одним из ценных видов мяса, так как более богата белками, чем говядина и свинина.

Крупной базой коневодства является Казахстан. По численности поголовья лошадей она занимает второе место среди бывших союзных рес-

публик. В Казахстане продуктивное коневодство сложилось в самостоятельную отрасль животноводства, перед которой поставлена задача – удовлетворить потребности населения в высококачественной конине. Здесь имеются благоприятные условия для развития мясного коневодства.

Ароматное нежное мясо молодых лошадей считается ценным сырьем для изготовления национальных изделий.

Резервы увеличения производства конины следующие: рост поголовья лошадей в селах самостоятельной отрасли мясного коневодства, правильная организация кормовой базы, кормление, нагулы, откорм и разведение лошадей, сдаваемых на мясо, и их доращивание, борьба с потерями поголовья скота, а также с потерями его упитанности при транспортировке на предприятия.

Рост поголовья в коневодстве за последние пять лет составил 45,8%, что делает отрасль лидером в мясном и племенном животноводстве. Коневодство по сравнению с другими направлениями животноводства ниже, а продукция имеет устойчивый спрос и высокую маржинальную прибыль, поскольку сбывается по цене выше говядины и баранины. Так, в ноябре 2023 г. цена килограмма говядины в Казахстане составляла в среднем от 2,5 тыс. тенге до 3,5 тыс. тенге в разных регионах страны, а баранины – от 1,8 до 2,3 тыс. тенге. Конина же сбывалась в ценовом диапазоне от 1,8 до 3,5 тыс. тенге за кг, и это при себестоимости в 400-500 тенге. Низкая себестоимость производства конины обусловлена тем, что лошадей можно пасти круглый год. Но при этом из-за более высоких вкусовых качеств и традиций в Казахстане конина будет дороже и говядины, и баранины.

Согласно данным статистического бюро, потребление в Казахстане говядины составило во втором квартале 2023 г. 5,6 кг на одного жителя страны, а баранины – 1,7 кг за тот же период. Это пока превышает потребление конины - 1 кг.

При этом конина 2023 г. дорожала медленнее, чем два ее основных конкурента по внутреннему рынку – 13 % рост в цене за 10 месяцев против 15% роста стоимости говядины за тот же период

и 15,6% роста цены баранины [7].

Популярность лошадиного мяса на рынке постепенно растет. Причиной тому выступает состав продукта. Мясо является отличным источником белка. Как объяснялось выше, эти белки выполняют определенные функции в живой мышечной ткани и при преобразовании мышц в мясо. К ним относятся актин и миозин (миофибриллярные белки), гликолитические ферменты и миоглобин (саркоплазматические белки) и коллаген (белки соединительной ткани). Поскольку белки, содержащиеся в мясе, обеспечивают рацион всеми девятью незаменимыми аминокислотами, мясо считается полноценным источником белка. Включает протеин – не менее 15–20%; воду – 70%; жиры в количестве 2–5%; золу – около 1%. Что касается микроэлементов, то в составе конины основную часть занимают: калий, железо, натрий, фосфор и др. Богата конина и на витамины. Такой состав предполагает высокую энергетическую ценность продукта. По своей калорийности он относится к числу среднекалорийных и составляет около 120-180 ккал на каждые 100 г мяса. Диетологи утверждают, что конина рекомендована детям в качестве первого прикорма, особенно страдающим аллергией [8].

В рационе жиры, содержащиеся в мясе, служат переносчиками жирорастворимых витаминов (А, D, Е и К) и поставляют необходимые вещества не поставляемые организмом). Помимо своей роли запаса энергии, жирные кислоты являются предшественниками в синтезе. Жирнокислотный состав мяса зависит от нескольких факторов. Рацион питания лошадей при откорме может существенно изменить состав жирных кислот мяса. Если кормить добавками с высоким содержанием ненасыщенных жиров, жир, который они откладывают в мышцах, будет иметь повышенный уровень ненасыщенных жирных кислот. При классификации мяса мясо разделяется на разные классы на основе ожидаемых пищевых качеств (например, внешнего вида, нежности, сочности и вкуса) и ожидаемого выхода товарного мяса из тушки. В отличие от процедур проверки мяса, системы классификации мяса значительно различаются во всем мире. Эти различия во многом обу-

словлены тем, что в разных странах действуют разные стандарты качества мяса. Например, в Соединенные Штаты скот откармливают в первую очередь для производства стейков и откармливают высококачественными зерновыми кормами для достижения высокого количества по всей мускулатуре животного. Высокий уровень качества мяса связан с более сочными, более ароматными и нежными комбикормами при откорме [9]. Самым распространенным компонентом мяса является – вода. Однако, поскольку жировая ткань содержит мало влаги или вообще не содержит ее, по мере увеличения процента жира в куске мяса процент воды снижается. Таким образом, нежирная молодая конина может содержать до 80 процентов воды, а полностью откормленная конина — до 50 процентов. Поскольку при приготовлении мяса теряется вода, процентное содержание белка и жира в приготовленном мясе обычно выше, чем в сыром.

На содержание миоглобина в скелетных мышцах влияет ряд факторов кормления и процесса убоя. Мышцы представляют собой смесь двух разных типов мышечных волокон: быстро сокращающихся и медленно сокращающихся, пропорции которых различаются между мышцами. Быстро сокращающиеся волокна имеют низкое содержание миоглобина, поэтому их еще называют белые волокна. Медленно сокращающиеся волокна содержат большое количество миоглобина и обладают большей способностью к окислительному метаболизму. Эти волокна часто называют красные волокна. Следовательно, темный цвет мяса является результатом относительно высокой концентрации медленно сокращающихся волокон в мышцах животного. При составлении перспективных планов содержания и откорма животных, на примере производства конины, широко используются различные нормативы. Применительно к табунному коневодству в экономической и сельскохозяйственной литературе для отдельных регионов страны также разрабатывались нормативные показатели раци-

она питания [10]. Республика Казахстан с наличием огромных территорий естественных пастбищ (180 млн га) имеет значительные перспективы в снабжении страны экологически чистыми продуктами питания. Крупным резервом выполнения Продовольственной программы республики является отгонное животноводство, в частности, коневодство. Необходимо отметить, что на протяжении последнего десятилетия государство приняло ряд программ, направленных на развитие агропромышленного комплекса страны [11].

Для обеспечения качества мясных продуктов из конины, необходимо оптимизировать выход конечной продукции по всей цепочке создания стоимости. Одним из факторов влияющих на повышение эффективности всей цепочки создания стоимости является комплекс использования оборудования для переработки. Начиная с конкретных процессов, таких как взвешивание, нарезка и маркировка, до комплексных решений, таких как линии обвалки, обрезки, приготовления мяса, нарезки на порции и формовки мясопереработки с постоянным вниманием к гигиене и безопасности. Количество оборудования будет зависеть от используемых процедур убоя и переработки.

Выводы. В настоящее время в Казахстане пищевая промышленность развивается достаточно сбалансированно. Мясная отрасль нуждается в разработке новых методов откорма с применением инновационных информационно-технических решений и привлечении инвестиций для оснащения высокопроизводительным оборудованием для переработки с целью обеспечения повышения эффективности производства конины.

Повышение экономической эффективности позволит сделать коневодство одним из рентабельных направлений животноводства, обеспечивающим необходимый ресурс для устойчивого животноводства и удовлетворяющим растущий спрос на белок в пище для быстро растущего населения.

Литература

1. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных наций URL:

-
- <http://www.fao.org/home/ru/> [Электронный ресурс]. (дата обращения - 12.03.2024)
2. Данные Комитета по статистике Министерства национальной экономики Республики Казахстан по состоянию на январь-октябрь 2023 года. -URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/economy?lang=ru> [Электронный ресурс]. (дата обращения 12.03.2024)
 3. Бюро национальной статистики агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан по состоянию на 1 июня 2023 года. - URL: <https://stat.gov.kz/ru/> [Электронный ресурс]. Дата обращения - 12.03.2024
 4. Большая Российская энциклопедия. - URL: <https://bigenc.ru/c/konevodstvo-394ab0> [Электронный ресурс]. Дата обращения - 12.03.2024
 5. ГОСТ 32225-2013. Лошади для убоя Конины и жеребятина в полутушах и четвертинах. Технические условия. Horses for slaughter. Horseflesh in semi-carcasses and quarters. Specifications. – Взамен ГОСТ 20079-74; введ - 01.07.2015. –Москва: Межгосударственный стандарт. - М.: Изд-во стандартов, 2015.
 6. ГОСТ 27095-86. Конины и жеребятина в полутушах и четвертинах. Технические условия. Meat. Horse meat and young horse meat in half-carcasses and quarters. Specifications. - Взамен ГОСТ 20079-74; введ – 01.01.1988. –Москва: Межгосударственный стандарт. - М. : Изд-во стандартов, 2006.
 7. Бас аграрлық сайт URL: <https://eldala.kz> [Электронный ресурс]. (дата обращения - 12.03.2024)
 8. Инербаева А.Т. Производители конины и ее переработка на качественные мясные продукты.// Сибирский научно-исследовательский и технологический институт переработки сельскохозяйственной продукции Сибирского Федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СибНИТИП СФНЦА РАН).- Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации и Республики Бурятия Мункоева Константина Тармаевича. - Новосибирск, Россия. - 2019. -с.103-109
 9. The American Association of Meat Processors (AAMP). –URL: <https://www.aamp.com/> (date of application - 03/12/2024)
 10. Нурушева Г.М. Научное обоснование эффективности продуктивного коневодства на Севере Казахстана // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, -2011. -№. 4(32-1). -С. 247-249.
 11. Есенгалиева С.М., Мансурова М.А., Махмудов А.Д., Федорченко Л.В. Современное состояние и тенденции развития животноводства в Республике Казахстан. Economics: the strategy and practice. -2021. №16(2). -P134-144. DOI 10.51176/1997-9967-2021-2-134-144.

References

1. Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaistvennaya organizatsiya Ob"edinennykh natsii URL: <http://www.fao.org/home/ru/> [Elektronnyĭ resurs]. (data obrashcheniya - 12.03.2024) [in Russian]
2. Dannye Komiteta po statistike Ministerstva natsional'noĭ ekonomiki Respubliki Kazakhstan po sostoyaniyu na yanvar'-oktyabr' 2023 goda. -URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/economy?lang=ru> [Elektronnyĭ resurs]. (data obrashcheniya 12.03.2024) [in Russian]
3. Byuro natsional'noi statistiki agentstva po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan po sostoyaniyu na 1 iyunya 2023 goda. - URL: <https://stat.gov.kz/ru/> [Elektronnyĭ resurs]. Data obrashcheniya - 12.03.2024 [in Russian]

4. Bol'shaya Rossiiskaya entsiklopediya. - URL: <https://bigenc.ru/c/konevodstvo-394ab0> [Elektronnyĭ resurs]. Data obrashcheniya - 12.03.2024 [in Russian]
5. GOST 32225-2013. Loshadi dlya uboia Konina i zherebyatina v polutushakh i chetvertinakh. Tekhnicheskie usloviya. Horses for slaughter. Horseflesh in semi-carasses and quarters. Specifications. – Vzamen GOST 20079-74; vved - 01.07.2015. –Moskva: Mezghosudarstvennyi standart. - M.: Izd-vo standartov, 2015. [in Russian]
6. GOST 27095-86. Konina i zherebyatina v polutushakh i chetvertinakh. Tekhnicheskie usloviya. Meat. Horse meat and young horse meat in half-carasses and quarters. Specifications. - Vzamen GOST 20079-74; vved – 01.01.1988. –Moskva: Mezghosudarstvennyi standart. - M. : Izd-vo standartov, 2006. [in Russian]
7. Bas agrarlyq sait URL: <https://eldala.kz> [Elektronnyĭ resurs]. (data obrashcheniya - 12.03.2024) [in Russian]
8. Inerbaeva A.T. Proizvoditeli koniny i ee pererabotka na kachestvennye myasnye produkty.//Sibirskii nauchno-issledovatel'skii i tekhnologicheskii institut pererabotki sel'skokhozyaistvennoi produktsii Sibirskogo Federal'nogo nauchnogo tsentra agrobiotekhnologii Rossiiskoi akademii nauk (SibNITIP SFNTsA RAN), materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu doktora sel'skokhozyaistvennykh nauk, professora, zasluzhennogo deyatelya nauki Rossiiskoi Federatsii i Respubliki Buryatiya Munkoeva Konstantina Tarmaevicha. - Novosibirsk, Rossiya. - 2019. -S.103-109 [in Russian]
9. The American Association of Meat Processors (AAMP). –URL: <https://www.aamp.com/> (date of application - 03/12/2024)
10. Nurusheva G.M. Nauchnoe obosnovanie effektivnosti produktivnogo konevodstva na Severe Kazakhstana // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, -2011. -№. 4(32-1). -S. 247-249. [in Russian]
11. Esengalieva S.M., Mansurova M.A., Makhmudov A.D., Fedorchenko L.V. Sovremennoe sostoyanie i tendentsii razvitiya zhivotnovodstva v Respublike Kazakhstan. Economics: the strategy and practice. - 2021. №16(2). -P134-144. DOI 10.51176/1997-9967-2021-2-134-144. [in Russian]

Сведения об авторах

Анель Т.К. - докторант НАО «Казакский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан, e-mail: anel_kostanova@mail.ru;

Шолпан Б.Б. - кандидат технических наук, и.о. ассоциированного профессора НАО «Казакский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Астана, Казахстан, e-mail: baytukenova75@mail.ru;

Сауле Б.Б. - кандидат технических наук, и.о. ассоциированного профессора АО «Казакский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова», Астана, Казахстан, e-mail: saule7272@mail.ru

Information about authors

Anel T.K. - PhD student «S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University» NJSC, Astana, Kazakhstan, e-mail: anel_kostanova@mail.ru;

Sholpan B.B. – candidate of technical sciences, acting associate professor «S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University» NJSC, Astana, Kazakhstan, e-mail: baytukenova75@mail.ru;

Saule B.B. – candidate of technical sciences, acting associate professor «Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov» JSC, Astana, Kazakhstan, e-mail: saule7272@mail.ru

УСТАНОВКА ДЛЯ КАПСУЛИРОВАНИЯ ПРОБИОТИКОВ

¹М.М. Ташыбаева✉, ¹А.К. Какимов, ²А.А. Майоров, ¹Г.А. Жумадилова

¹ НАО Университет им. Шакарима города Семей, Казахстан, Семей,

² ФГБНУ Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

✉ Корреспондент-автор: marzhan06081990@gmail.com

Инкапсуляция является весьма актуальным процессом на сегодняшний день, так как позволяет защитить инкапсулируемый материал (пробиотик) от воздействий окружающей среды: влага, тепло и т.д., тем самым повышая шансы на выживаемость. Для подбора оптимального процентного соотношения альгината натрия 0,5%, 0,8%, 1%. Эксперименты проводились при температурах гелеобразующей смеси от 20 до 50 °С. Была выбрана форсунка с выходным отверстием $d = 1,2 \times 10^{-3}$ м, как наиболее оптимальная и по производительности, и по качеству получаемых капсул. При определении вязкости в вискозиметре Брукфильда постоянный режим выходит после частоты вращения ротора от $0,333 \text{ с}^{-1}$ до $0,833 \text{ с}^{-1}$. В полученную смесь внесли навеску штамма пропионовокислых бактерий *Propioni-bacterium freudenreichii*. В конечном итоге, получили округлые капсулы, содержащие пробиотик *Propionibacterium freudenreichii*, которые могут быть использованы в дальнейших технологических процессах при получении пищевых продуктов лечебно-профилактического действия или при получении фармакологических препаратов. Гелеобразное сырье при нагнетании давления с помощью шестеренчатого насоса испытывает мгновенно-упругую деформацию и в дальнейшем, при напряжении превышающем предел текучести, вязкопластическую деформацию. Под действием давления и испытываемых деформаций, гелеобразное сырье попадает в форсунку, разбрызгивается, в дальнейшем образует микрокапсулы.

Ключевые слова: микрокапсула, пробиотик, шестеренчатый насос, форсунка, альгинат, распылительный метод

INSTALLATION FOR CAPSULATION OF PROBIOTICS

¹M.M. Tashybayeva✉, ¹A.K. Kakimov, ²A.A. Mayorov, ¹G.A. Zhumadilova

¹NJSC Shakarim University of Semey, Semey, Kazakhstan,

²Federal State Budget Scientific Institution Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies, Barnaul, Russian,

e-mail: marzhan06081990@gmail.com

Encapsulation is a very relevant process today, as it allows you to protect the encapsulated material (probiotic) from environmental influences: moisture, heat, etc., thereby increasing the chances of squeezability. To select the optimal percentage of sodium alginate 0.5%, 0.8%, 1%. The experiments were carried out at temperatures of the gel-forming mixture from 20 to 50 °C. A nozzle with an outlet hole $d = 1,2 \times 10^{-3}$ m was selected as the most optimal both in terms of performance and quality of the capsules obtained. When determining the viscosity in the Brookfield viscometer, the constant mode goes out after the rotor speed from $0,333 \text{ с}^{-1}$ до $0,833 \text{ с}^{-1}$. A suspension of a strain of propionic acid bacteria *Propionibacterium freudenreichii* was added to the resulting mixture. Eventually, rounded capsules containing the probiotic

Propionibacterium freudenreichii were obtained, which can be used in further technological processes in the production of food products of therapeutic and preventive action or in the production of pharmacological preparations. The gellike raw material, when pressurized with a gear pump, experiences instantaneous elastic deformation and further, at a stress exceeding the yield strength, viscoplastic deformation. Under the influence of pressure and the deformations tested, the gellike raw material enters the nozzle, is sprayed, and then forms microcapsules.

Keywords: microcapsule, probiotic, gear pump, nozzle, alginate, spray method

ПРОБИОТИКТЕРДІ КАПСУЛАЛАУҒА АРНАЛҒАН ҚОНДЫРҒЫ

М.М. Ташыбаева✉, ¹А.К. Какимов, ²А.А. Майоров, ¹Г.А. Жумадилова

¹Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті КеАҚ, Семей, Қазақстан

Федералдық Алтай агробактериологиялық ғылыми орталығы ФМБГМ, Барнаул, Ресей,

e-mail: marzhan06081990@gmail.com

Капсулалау бүгінгі күні өте өзекті процесс, өйткені ол капсулаланған материалды (пробиотикті) қоршаған орта әсерінен: ылғалдан, жылудан және т.б. қорғауға мүмкіндік береді, осылайша сығу мүмкіндігін арттырады. Натрий альгинатының оңтайлы пайызын таңдау үшін 0,5%, 0,8%, 1% алынды. Тәжірибелер гель түзетін қоспаның 20-дан 50 °С-ге дейін температурасында жүргізілді. Өнімділік жағынан да, алынған капсулалардың сапасы бойынша да ең оңтайлы ретінде диаметрі $d = 1,2 \times 10^{-3}$ м форсунка таңдалды. Брукфильд вискозиметріндегі тұтқырлықты анықтау кезінде тұрақты режим ротордың $0,333 \text{ с}^{-1}$ және $0,833 \text{ с}^{-1}$ дейін айналу жиілігінен кейін шығады. Алынған қоспаға *Propionibacterium freudenreichii* пропион қышқылы бактерияларының штаммы қосылды. Соңында біз пробиоти-калық *Propionibacterium freudenreichii* бар дөңгелек капсулаларды алдық, оларды емдік-профилактикалық әсері бар тамақ өнімдерін өндіру немесе фармакологиялық препараттарды өндіру үшін одан әрі технологиялық процестерде қолдануға болады. Гель тәрізді шикізат беріліс сорғысының көмегімен қысымды айдау кезінде лезде серпімді деформацияны және одан әрі, аққыштық шегінен асатын кернеуде тұтқыр пластикалық деформацияны сезінеді. Қысым мен сыналған деформациялардың әсерінен гель тәрізді шикізат форсункаға түседі, шашырайды, әрі қарай микрокапсулалар түзеді.

Түйін сөздер: микрокапсула, пробиотик, тісті сорғы, форсунка, альгинат, шашырату әдісі

Введение. Здоровье человека, как и качество его жизни во многом определяется качеством потребляемой пищи. Пища должна содержать все необходимые вещества для нормального функционирования организма человека. В наше время большое количество людей из-за несбалансированного питания, малоподвижного образа жизни и нарушенного режима страдают болезнями желудочно-кишечного тракта [1].

В последнее время в целях повышения и поддержания иммунитета человека, широко применяются пробиотики, так как они благотворно влияют на микрофлору человека. Пробиотики улуч-

шают пищеварение, повышают устойчивость к инфекционным заболеваниям и проявляют терапевтический эффект при острых кишечных инфекциях. Благотворное влияние пробиотиков на организм человека определяется положительными свойствами микроорганизмов, входящих в состав пробиотиков. В основном, состав пробиотиков включает представителей эндогенной флоры кишечника: бифидобактерии, кишечную палочку, энтерококков, лактобактерии и др. Они вносят существенный вклад в нормальное функционирование организма. Заключение биологически активных добавок, ферментов, клеток и др.

материалов в мелкие капсулы называется процессом инкапсулирования. Инкапсуляция является весьма актуальным процессом на сегодняшний день, так как позволяет защитить инкапсулируемый материал (пробиотик) от воздействий окружающей среды: влага, тепло и т.д., тем самым повышая шансы на выживаемость [1, с.8].

В пищевой промышленности инкапсуляцию используют для скрытия запахов и вкусовых качеств [2]. При употреблении живых микроорганизмов - пробиотиков, организм человека начинает лучше функционировать [3].

Инкапсулирование позволит сохранить жизнеспособность пробиотиков, что является важным аспектом для оптимальной работы желудочно-кишечного тракта [4].

Альгинат - природный полисахарид (лат. Phaeophyceae, ламинария японская (лат. Laminaria Japonica Aresch). Содержание альгиновой кислоты в ламинарии составляет от 15 до 30%) и бактерии.

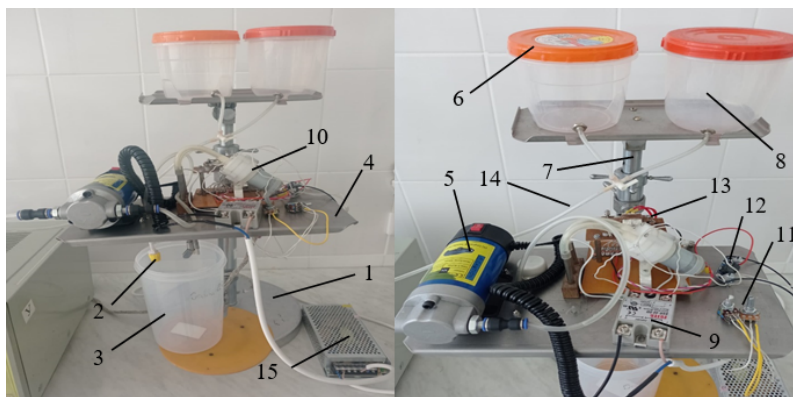
Альгинатные гидрогели для капсулирования клеток широко используются [5; 6], а альгинат кальция подходит для инкапсуляции пробиотиков из-за простоты использования, не токсично-

сти, биодоступности и низкой стоимости [7; 8; 9].

Биологические, химические и физические свойства капсулированных функциональных продуктов определяются технологиями и оборудованием, используемыми для их производства. Существует множество методов получения капсулированных функциональных продуктов, однако, немаловажным фактором при выборе технологии производства, является экономичность производственного процесса, простота эксплуатации, более низкая себестоимость конечного продукта при сохранении всех необходимых терапевтических, органолептических, функциональных качеств.

Способы получения капсул вручную, капельным методом, распылительным методом широко применяются на сегодняшний день, но данный процесс является очень трудоемким и долгим, соответственно, низкоэффективным и затратным.

На основании вышесказанного, была поставлена задача усовершенствования установки для получения функциональных капсул продукта (в частности пробиотиков), что позволяет автоматизировать процесс получения капсул с пробиотиками.



1- штатив, 2- форсунка, 3- емкость для раствора, 4- панель исполнительных устройств, 5- шестеренчатый насос (12 В, 5 А, 100 Вт), 6- емкость для рабочей смеси, 7- гайка регулировки уровня емкостей, 8- емкость для промывной жидкости, 9- однофазное твердотельное реле, 10- циркуляционный насос, 11- переменные резисторы для грубой и тонкой регулировки частоты вращения шестеренчатого насоса, 12- стабилизатор постоянного напряжения, модуль LM2596S; 13- термостат; 14 – трубопроводы; 15 – блок питания 24В, 20А.

Рис. 1 - Установка для капсулирования пробиотиков (методом распыления)

Цель работы капсулирование пробиотиков методом распыления с усовершенствованной установкой для капсулирования.

Методы исследования. Установка для капсулирования пробиотиков показана на рисунке 1 [10; 11].

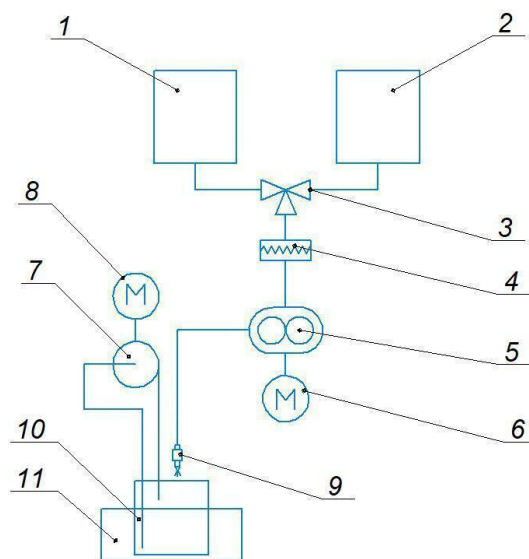
Была выбрана форсунка с выходным отверстием $d=1,2 \times 10^{-3}$ м, как наиболее оптимальная и по производительности, и по качеству получаемых капсул. Для подбора оптимального процентного соотношения альгината натрия 0,5%, 0,8%, 1%. Эксперименты проводились при температурах гелеобразующей смеси от 20 до 50 °С.

В качестве водного раствора гелеобразующей смеси использовали раствор с добавлением альгината натрия. Раствор получили следующим образом: в воде (60 °С) растворили альгинат натрия в количестве 1 % от общего количества взятой воды. Мерный стакан с водным раствором альгинат натрия помещается на электромагнитную мешалку с подогревом и раствор перемешивается

до полного растворения альгинат натрия. Температура подогрева выставляется 60 °С, так как при температуре ниже 60 °С альгинат натрия плохо растворяется, а при температуре выше 60 °С альгинат натрия начинает комковаться. После растворения альгината натрия смесь охладили до температуры 40°С [10, с.2].

В полученную смесь внесли навеску штамма пропионовокислых бактерий *Propionibacterium freudenreichii*. В качестве формообразующей смеси готовится 2% раствор хлорида кальция. Для этого берется 98 мл дистиллированной воды и добавляется 2 грамма хлорида кальция. После растворения хлорида кальция формообразующая смесь готова.

Технологическую схему установки, показана на рисунке 2 [11, с.1]. В емкость 1 для рабочей смеси заливается водный раствор гелеобразующей смеси (1% альгината натрия). В емкость 2 заливается промывочная жидкость для промывки системы после выполнения работы.



1 – емкость для рабочей смеси; 2 – емкость для промывочной жидкости; 3 – вентиль-переключатель; 4 – термостат; 5 – шестеренчатый насос; 6 – мотор привода шестеренчатого насоса; 7 – циркуляционный насос; 8 – мотор привода циркуляционного насоса; 9 – форсунка; 10 – емкость для формообразующего раствора; 11 – емкость для охлаждения (льда)

Рис. 2 - Технологическая схема установки для капсулирования

С помощью вентиля - переключателя 3 раствор из емкостей 1 подается в общую систему. Термостат 4 предназначен для поддержания температуры жидкости в системе на должном уровне. (40 град).

Шестеренчатый насос 5 подает жидкость в форсунку 9, где происходит распыление. Микрокапсулы образуются в формообразующей жидкости, представляющий из себя хлорид кальция, за счет химического преобразования альгината натрия в альгинат кальция при реагировании альгината натрия с формообразующей жидкостью. Для охлаждения формообразующей жидкости емкость 10 помещается в емкость со льдом 11. После получения микрокапсул проводится отделение капсул от формообразующей жидкости с помощью фильтрующей сетки (на схеме не указано, т.к. не входит в состав оборудования) [10, с.3; 11, с.3].

Определение вязкости водного раствора гелеобразующей смеси. Как известно, аналоговые вискозиметры с круговой шкалой являются простыми и удобными в использовании.

Для проведения измерений вязкости, необходимо зафиксировать основное рабочее тело вискозиметра на вертикальной цилиндрической штанге. В корпусе вискозиметра, на выходной вал электродвигателя крепится ротор. Частота вращения регулятора скорости вращения ротора находится в пределах от 0 до 100 об/мин.

Методология измерения вязкости состоит из нескольких этапов:

Подготовка пробы, путем размещения ее в химической посуде объемом не менее 600 мл. Выбор подходящего наконечника ротора и его крепление к выходному валу ротора. Тип необходимого наконечника определяется а зависимости от вязкости исследуемой жидкости. С целью проведения измерений в гелеобразных средах, необходимо использовать наконечник ротора № 4. Использование других типов наконечников, не со-

ответствующих типу измеряемой смеси, не даст адекватных результатов измерения. 1. Помещение рабочего элемента в исследуемую пробу. 2. Включение вискозиметра. 3. Определение необходимой скорости вращения ротора. 4. Стабилизация показаний (время стабилизации определяется в среднем после 5 оборотов ротора и находится в прямой зависимости от скорости вращения и характеристик исследуемой жидкости). 5. Снятие показаний с круговой шкалы.

В соответствии с номером использованного ротора и скоростью вращения, определяется табличный коэффициент, на который нужно умножить показания с круговой шкалы вискозиметра. Если необходимо получить данные в мПа·с, данные с круговой шкалы вискозиметра необходимо умножить на фактор F (табличный коэффициент), соответствующий определенному ротору [10, с.4].

Результаты и обсуждения. Для выявления изменения значений экспериментальных данных, построены графики зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и частоты вращения ротора вискозиметра. Показано на рисунке 3,4,5,6. Диапазон исследуемых температур был выбран от 20 до 50 °С, так как при температурах ниже 20 °С водный раствор гелеобразующей смеси загустевает и соответственно перестает течь через форсунку, а при температурах выше 50 °С пробиотики погибают.

При определении вязкости в вискозиметре Брукфильда постоянный режим выходит после частоты вращения ротора от $0,333 \text{ с}^{-1}$ до $0,833 \text{ с}^{-1}$.

Показано на рисунке 3 - 4 с раствором альгината натрия, на графике зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора при частоте вращения ротора вискозиметра $0,833 \text{ с}^{-1}$ и $0,333 \text{ с}^{-1}$ в экспериментальной установке для получения капсул, вязкость значительно увеличивается при понижении температуры, а по мере увеличения концентрации вязкость гелеобразующей смеси увеличивается.

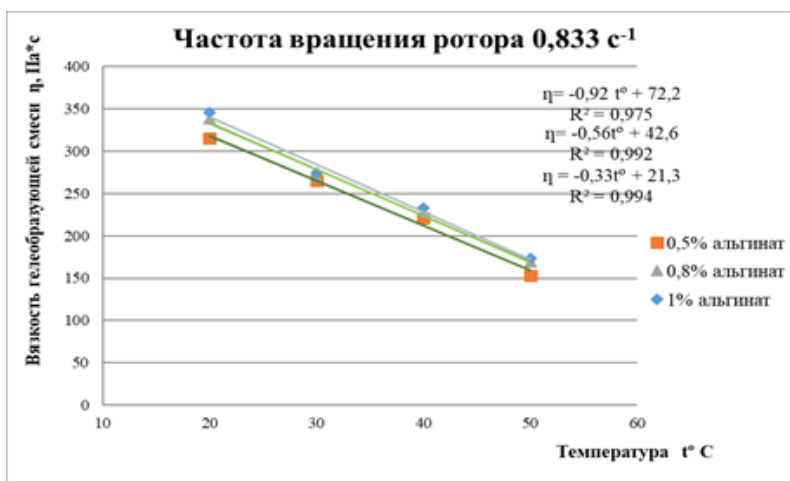


Рис.3 -Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и количества альгината натрия частоты вращения ротора 0,833 с⁻¹

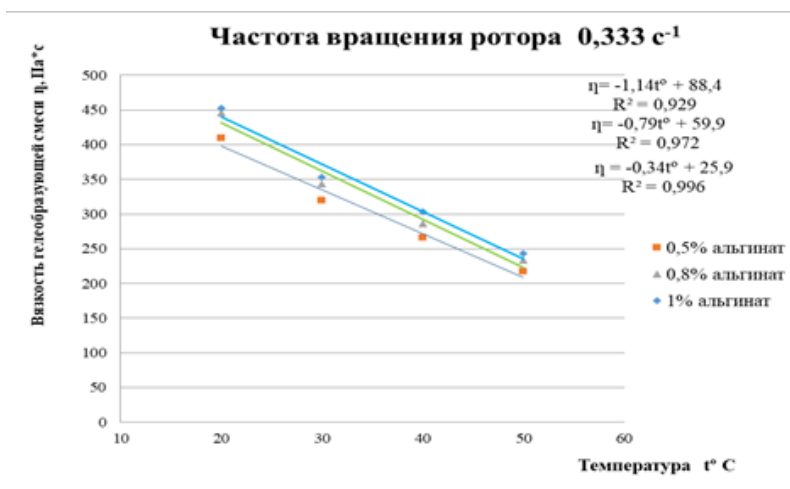


Рис. 4 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и количества альгината натрия частоты вращения ротора 0,333 с⁻¹

Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от концентрации раствора альгината натрия при различных температурах, из графиков на рисунке 5 - 6 видно, что при температурах 40 и 50 С° величина вязкости незначительно изменяется для частоты вращения ротора, но для предотвращения гибели пробиотических микроорганизмов не рекомендуется использовать температуру выше 50 С°. Исходя из всего этого, наиболее подходящая температура для использования раствора составляет 40 С°.

В условиях напряженного состояния, при приложении силы, поведение неньютоновских жидкостей характеризуется напряжением, геометрическими размерами канала и скоростью истечения жидкости [12].

Модели, которые характеризуются упругостью и вязкостью, составляют совокупность тел механической модели реологического тела продукта. Их деформационное поведение описывается реологическими уравнениями [12, с.14].

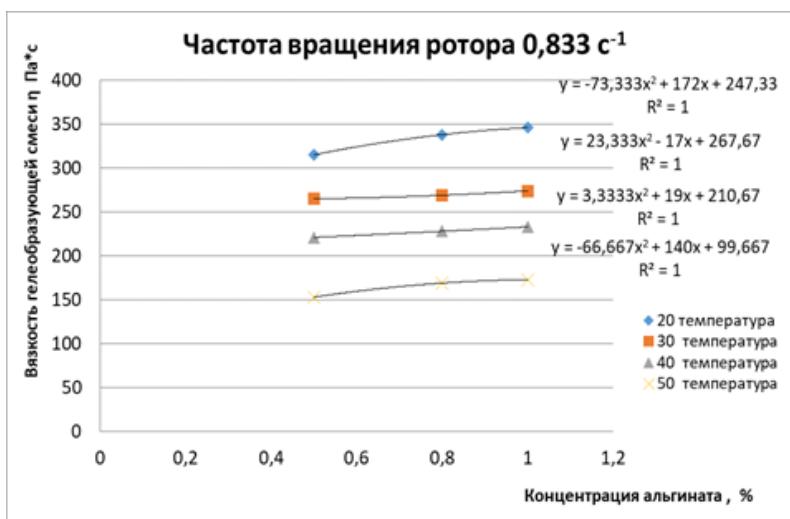


Рис. 5 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от концентрации раствора альгината натрия при различных температурах

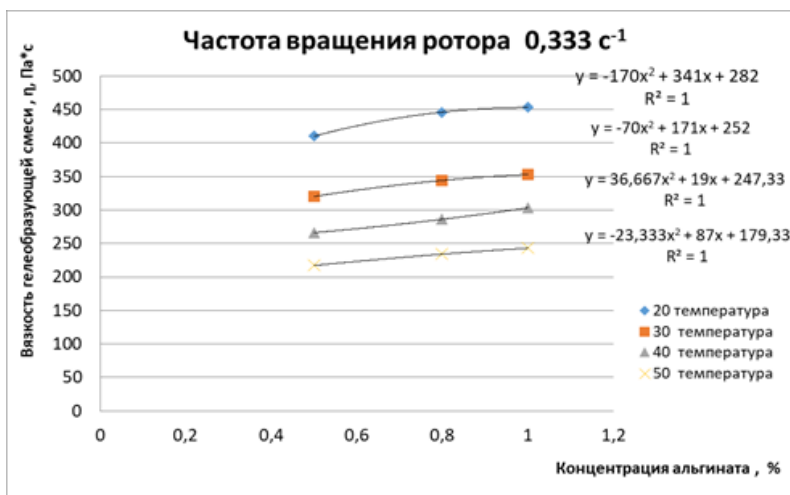


Рис. 6 - Зависимость вязкости гелеобразующей смеси от концентрации раствора альгината натрия при различных температурах

Гелеобразное сырье при нагнетании давления с помощью шестеренчатого насоса испытывает мгновенно-упругую деформацию (G) и в дальнейшем, при напряжении превышающем предел текучести (θ_t), вязкопластическую (η) деформацию. Под действием давления и испытываемых деформаций, гелеобразное сырье попадает в форсунку, разбрызгивается, в дальнейшем образует микрокапсулы.

Используя механические модели Бингама [12, с.18], Шведова [13], Шоффилда-Скоттблера [14], Пелега [15] и проведения обоснования с

целью описания поведения гелеобразного сырья при механическом воздействии, можно получить механическую модель реологического тела. Данная модель реологического тела представляет собой модель Бюргера [16] в соответствии с рисунком 7 [10, с.9; 12, с.20], т.е. последовательную механическую модель вязко - упругого релаксирующего тела Максвелла и вязко - упругого тела Кельвина – Фойгта для гелеобразной среды.

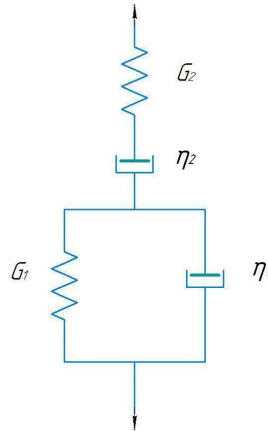
Таким образом, общая деформация гелеобразного сырья для данной модели представляет собой сумму деформаций тела Максвелла и элемен-

та, моделирующего поведение сырья, которое отражает явление упругого последствия, представляющее собой изменение упругой деформации с течением времени

$$\Delta\gamma = \Delta\gamma_M + \Delta\gamma_K \quad (1)$$

где, $\Delta\gamma_M$ – деформация модели Максвелла;

$\Delta\gamma_K$ – деформация модели Кельвина – Фойгта



G_1 - модуль мгновенной эластичной деформации, Па; G_2 - модуль замедленной упругой деформации, Па; η_1 – ньютоновская вязкость, Па·с; η_2 –пластическая вязкость при сдвиге, Па·с

Рис. 7 – Механическая модель Бюргера

Производная по времени от левой и правой частей уравнения (1) имеет вид:

$$\frac{d\gamma}{d\theta} = \frac{d\gamma_M}{d\theta} + \frac{d\gamma_K}{d\theta} \quad (2)$$

Реологическое уравнение модели Максвелла [12, с.17] определяет величину $\frac{d\gamma_M}{d\theta}$:

$$\frac{d\gamma_M}{d\theta} = \frac{1}{G_1} \frac{\theta}{d\theta} + \frac{\theta \cdot t}{\eta_1} \quad (3)$$

Величина $\frac{d\gamma_K}{d\theta}$ определяется реологическим уравнением модели Кельвина - Фойгта:

$$\frac{d\gamma_K}{d\theta} = \left(\frac{\theta}{G_2 \cdot d\theta} \right) \cdot [1 - e^{(-G_2 \cdot t / \eta_2)}] \quad (4)$$

Подставляя это значение в выражение (2) получим уравнение Бюргера для гелеобразного сырья [12, с.19]:

$$\dot{\gamma} = \frac{\theta}{G_1} + \frac{\theta \cdot t}{\eta_1} + \left(\frac{\theta}{G_2} \right) \cdot [1 - e^{(-G_2 \cdot t / \eta_2)}] \quad (5)$$

где $\dot{\gamma}$ – градиент скорости, c^{-1} ; G_1 - модуль мгновенной эластичной деформации, Па; G_2 - модуль замедленной упругой деформации, Па; η_1 – ньютоновская вязкость, Па·с; η_2 –пластическая вязкость при сдвиге, Па·с; θ – касательное напряжение, Па; t – время, с.

Полученная математическая модель с достаточной точностью позволит описать процесс истечения гелеобразной жидкости из форсунки для экспериментальной установки. Представленная модель применима к установкам с подобным принципом действия, вне зависимости от их габаритов [10, с.10].

Для получения микрокапсул эксперимент проводили с применением форсунки с выходным отверстием $d = 1,2 \times 10^{-3} \text{ м}$ [10, с.6-7].

При концентрации 0,5% альгината натрия полученные капсулы имеют округлую, но не всегда правильную форму и однородную структуру, мягкую консистенцию, легко разрушаются при физическом воздействии и имеют средний размер $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.



Рис. 8- Микрокапсула 0,5% альгинат натрия

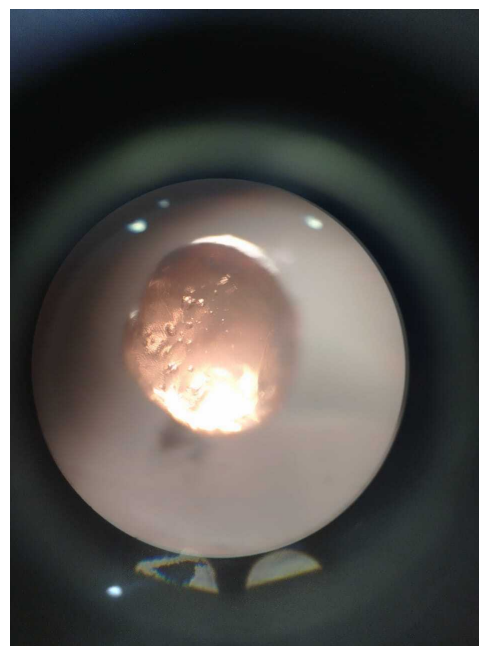


Рис. 9 -Микрокапсула 0,8% альгинат натрия

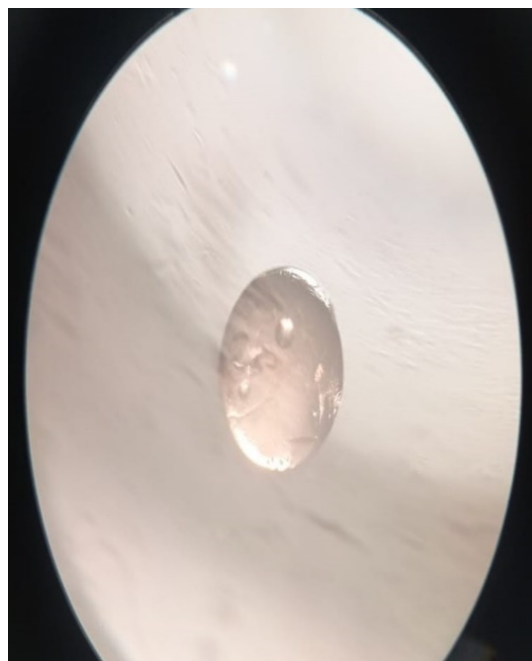


Рис.10- Микрокапсула 1 % альгинат натрия

При концентрации 0,8% альгината натрия полученные капсулы имеют округлую форму и однородную структуру, мягкую консистенцию, легко разрушаются при физическом воздействии и имеют средний размер $1,3 \times 10^{-3}$ м.

При концентрации 1% альгината натрия полученные капсулы имеют округлую форму и одно-

родную структуру, мягкие на ощупь, но устойчивые при физическом воздействии и имеют средний размер составил $1,4 \times 10^{-3}$ м

Проводя анализ капсул, можно сделать вывод: что наиболее оптимальным вариантом является состав раствора, содержащий 1% альгинат натрия. Капсулы, изготовленные из этого раство-

ра, имеют красивую округлую форму, одинаковый размер, мягкую консистенцию, но устойчивую для физического воздействия.

Выводы. В настоящее время микрокапсулы стали применяться в сельском хозяйстве, фармацевтике в различных отраслях промышленности. При проведении экспериментов использовали в качестве распылителя пластиковую форсунку с выходным диаметром $d = 1,2 \times 10^{-3}$ м. Для экспериментов готовили растворы в концентрациях 0,5%, 0,8%, 1% альгината. Для подбора оптимальных размеров капсул построены графики зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и скорости вращения вис-

козиметра ротора. Исследуемый диапазон температур выбирался от 20 до 50 °С. Для определения изменения значений экспериментальных данных построены графики зависимости вязкости гелеобразующей смеси от температуры раствора и концентрации раствора при различных температурах.

В конечном итоге, получили округлые капсулы, содержащие пробиотик *Propionibacterium freudenreichii*, которые могут быть использованы в дальнейших технологических процессах при получении пищевых продуктов лечебно-профилактического действия или при получении фармакологических препаратов.

Литература

1. Жумадилова Г. А. Исследование процесса инкапсулирования пробиотиков с целью создания оборудования: дисс ... PhD - 6D072400. - Семей: НАО «Университет имени Шакарима города Семей», 2020.- 131с.
2. Какимов А.К., Ибрагимов Н.К., Муратбаев А.М., Джумажанова М.М., Жумадилова Г.А. Инкапсулирование в пищевой промышленности // Пищевые инновации и биотехнологии: сборник тезисов VII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Т. 1. Технологии пищевых производств, качество и безопасность / под общ. ред. А. Ю. Просекова: ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет».-Кемерово, 2019. - С. 153-154.
3. A.Kakimov, Kakimova Zh., Mirasheva G., Bereyeva A., Toleubekova S., Jumazhanova M., Zhumadilova G., Yessimbekov Zh. Amino Acid Composition of Sour-milk Drink with Encapsulated Probiotics // Annual Research & Review in Biology.- 2017.- Vol.18(1).- P.1-7. DOI 10.9734/ARRB/2017/36079
4. Какимов А.К., Какимова Ж.Х., Бепеева А.Е., Джумажанова М.М, Жумадилова Г.А. Безопасность, функциональные и технологические свойства пробиотических бактерий // Сборник научных трудов, посвященный 60-летию отдела сибниис федеральное государственное бюджетное научное учреждение Фанца. Актуальные проблемы техники и технологии переработки молока, Барнаул: 2018.- С.- 162-165
5. Муратбаев А. М. Капсулаланған биологиялық белсенді қоспаларды қолданып өндірілген, тамақ өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етудің тәжірибелік аспектілері: дисс. ...PhD - 6D073500. – Семей: Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, 2021. – 169 с.
6. Burgain J., Gaiani C., Linder M., Scher J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications// Journal of Food Engineering.-2011.-Vol.104(4) - P.467–483. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031
7. Rowley J.A., Madlambayan G., Mooney D.J. Alginate hydrogels as synthetic extracellular matrix materials//Biomaterials.- 1999.-Vol. 20 (1).- P. 45- 53. DOI 10.1016/s0142-9612(98)00107-0
8. Krasaekoopt W., Bhandari B., Deeth H. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt //International Dairy Journal.-2003.- Vol.13(1).- P. 3–13. DOI 10.1016/S0958-6946(02)00155-3
9. Cook M.T., Tzortzis G., Charalampopoulos D., Khutoryanskiy V. V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. Review// Journal of Controlled Release. - 2012.- Vol.162 - P. 56 - 67. DOI

10.1016/j.jconrel.2012.06.003

10. M. Tashybayeva, A. Kakimov, N. Ibragimov, G. Zhumadilova, A. Muratbayev, M. Jumazhanova, B. Idyryshev, Z. Kapshakbayeva, A. Bepeyeva Optimization of encapsulation parameters for sodium alginate capsules: A study on the effect of temperature and gear pump rotation speed on capsule production and quality// Journal of Food Process Engineering.- 2024- Vol.47(7) DOI 10.1111/jfpe.14687

11. Ташыбаева М.М., Какимов А.К., Майоров А.А., Ибрагимов Н.К., Джумажанова М.М., Жумадилова Г.А., Муратбаев А.М., Бакиева А.Б., Дукенбаев Д.К. Капсулаған өнімдерді өндіруге арналған қондырғы / ҚР пайдалы модельге патенті № 9093, 03.05.2024ж.

12. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых продуктов. - М.: Легкая и пищевая промышленность.- 1981.-215 с.

13. Schofield R. K., Scott Blair G. W. The relationship between viscosity, elasticity and plastics strength of a soft material as illustrated by some mechanical properties of flour dough. — Proc. Roy. Soc.-1932. - P. 707- 718.DOI 10.1098/pspa.1933.0038

14. Scott Blair G. W. Psycho-rheology. — J. Texture Studies, 1.- 1970.- P. 231

15. Peleg M. Contact and fracture elements as components of the rheological memory of solid foods. — J. Texture Studies 8, 1977. - P. 39 - 48. DOI 10.1111/j.1745-4603.1977.tb01164.x

16. Шрам Г. Основы практической реологии и реометрии – М.: Колос С, 2003. – 312 с. ISBN 5-9532-0234-2

17. Горбатов А.В., Реология мясных и молочных продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 383 с.

References

1. Zhumadilova G. A. Issledovanie processa inkapsulirovani ja probiotikov s cel' ju sozdani ja oborudovani ja: diss ... PhD - 6D072400. - Semej: NAO «Universitet imeni Shakarima goroda Semej», 2020.- 131s. [in Russian]

2. Kakimov A.K., Ibragimov N.K., Muratbaev A.M., Dzhumazhanova M.M., Zhumadilova G.A. Inkapsulirovanie v pishhevoj promyshlenosti // Pishhevye innovacii i biotekhnologii: sbornik tezisov VII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. T. 1 Tehnologii pishhevyyh proizvodstv, kachestvo i bezopasnost' / pod obshh. red. A. Ju. Prosekova: FGBOU VO «Kemerovskij gosudarstvennyj universitet».-Kemerovo, 2019. - S. 153-154. [in Russian]

3. A.Kakimov, Kakimova Zh., Mirasheva G., Bepeyeva A., Toleubekova S., Jumazhanova M., Zhumadilova G., Yessimbekov Zh. Amino Acid Composition of Sour-milk Drink with Encapsulated Probiotics // Annual Research & Review in Biology.- 2017.- Vol.18(1).- P.1-7. DOI 10.9734/ARRB/2017/36079

4. Kakimov A.K., Kakimova Zh.H., Bepeeva A.E., Dzhumazhanova M.M, Zhumadilova G.A. Bezopasnost', funktsional'nye i tehnologicheskie svoystva probioticheskikh bakterij // Sbornik nauchnyh trudov, posvjashhennyj 60-letiju otdela sibniis federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe nauchnoe uchrezhdenie Fanca. Aktual'nye problemy tehniki i tehnologii pererabotki moloka, Barnaul: 2018.- C.-162-165. [un Kazakh]

5. Muratbaev A. M. Kapsulalanған биологиялық белсенді қоспаларды қолдануға өндірілген, тамақ өнімдерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етудің тәжірибелік аспектілері: diss. ...RhD - 6D073500. -Semej: Semej қаласының Шәкәрім атындағы университеті, 2021. -169 с.

6. Burgain J., Gaiani C., Linder M., Scher J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications// Journal of Food Engineering.-2011.-Vol.104(4) - P.467–483. DOI 10.1016/j.

jfoodeng.2010.12.031

7. Rowley J.A., Madlambayan G., Mooney D.J. Alginate hydrogels as synthetic extracellular matrix materials//Biomaterials.- 1999.-Vol. 20 (1).- P. 45- 53. DOI 10.1016/s0142-9612(98)00107-0
8. Krasaekoopt W., Bhandari B., Deeth H. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt //International Dairy Journal.-2003.- Vol.13(1).- P. 3–13. DOI 10.1016/S0958-6946(02)00155-3
9. Cook M.T., Tzortzis G., Charalampopoulos D., Khutoryanskiy V. V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. Review// Journal of Controlled Release. - 2012.- Vol.162 - P. 56 - 67. DOI 10.1016/j.jconrel.2012.06.003
10. M. Tashybayeva, A. Kakimov, N. Ibragimov, G. Zhumadilova, A. Muratbayev, M. Jumazhanova, B. Idyryshev, Z. Kapshakbayeva, A. Bereyeva Optimization of encapsulation parameters for sodium alginate capsules: A study on the effect of temperature and gear pump rotation speed on capsule production and quality// Journal of Food Process Engineering.- 2024- Vol.47(7) DOI 10.1111/jfpe.14687
11. Tashybaeva M.M., Kakimov A.K., Majorov A.A., Ibragimov N.K., Dzhumazhanova M.M., Zhumadilova G.A., Muratbaev A.M., Bakieva A.B., Dukenbaev D.K. Kapsulaǵan ǵnimderdi ǵndiruge arnalǵan kondyrǵy / ҚР пайдaly model'ge patenti № 9093, 03.05.2024zh. [in Russian]
12. Machihin Ju.A., Machihin S.A. Inzhenernaja reologija pishhevyyh produktov. - M.: Legkaja i pishhevaja promyshlennost'.- 1981.-215 s. [in Russian]
13. Schofield R. K., Scott Blair G. W. The relationship between viscosity, elasticity and plastics strenght of a soft material as illustrated by some mechanical properties of flour dough. — Proc. Roy. Soc.-1932. - P. 707- 718.DOI 10.1098/pspa.1933.0038 [in Russian]
14. Scott Blair G. W. Psycho-rheology. — J. Texture Studies, 1.- 1970.- P. 231. [in Russian]
15. Peleg M. Contact and fracture elements as components of the rheolo-gical memory of solid foods. — J. Texture Studies 8, 1977. - P. 39 - 48. DOI 10.1111/j.1745-4603.1977.tb01164.x
16. Shram G. Osnovy prakticheskoy reologii i reometrii – M.: Kolos S, 2003. – 312 s. ISBN 5-9532-0234-2
17. Gorbатов A.V., Reologija mjasnyh i molochnyh produktov. -M.: Pishhevaja promyshlennost', 1979. - 383 s.

Сведения об авторах

Ташыбаева М.М.-докторант, Университет имени Шакарима города Семей, Казахстан, e-mail: marzhan06081990@gmail.com.

Какимов А.К.- доктор технических наук, профессор, Университет имени Шакарима города Семей, Казахстан, e-mail: bibi.53@mail.ru;

Майоров А.А. - доктор технических наук, профессор ФГБНУ Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Российская Федерация, e-mail: maiorov.alex@mail.ru;

Жумадилова Г.А. - PhD, Университет имени Шакарима города Семей, Казахстан; e-mail: zhumadilovaga@mail.ru.

Information about authors

Tashybayeva M.M. - doctoral student, Shakarim University of Semey, Kazakhstan, e-mail: marzhan06081990@gmail.com;

Kakimov A.K. – doctor of technical sciences, Shakarim University of Semey, Kazakhstan, e-mail: bibi.53@mail.ru;

Mayorov A.A. - doctor of technical sciences, professor federal State Budget Scientific Institution Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies , Barnaul, Russian, e-mail: maiorov.alex@mail.ru;
Zhumadilova G.A.- PhD, Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: zhumadilovaga@mail.ru.

ПРИМЕНЕНИЕ BIOTEХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОНИНЫ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ

¹С.Л. Гаптар, ²С.Б. Байтуkenова✉

¹ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», Новосибирск, Россия,

²АО «Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова», Астана, Казахстан

✉Корреспондент-автор: saule7272@mail.ru

В данной работе рассматриваются современные биотехнологические методы, направленные на улучшение качества конины. Рассматриваются принципы их действия, влияние на структуру, вкус и питательные свойства мяса.

Для оптимизации производственного цикла и улучшения качества соленых мясопродуктов, особенно из конины с высокой жесткостью, рекомендуется использовать биотехнологические и физические методы обработки. Одним из эффективных подходов является использование парного мяса, которое обладает высокой влагосвязывающей способностью и выраженными бактериостатическими свойствами, что замедляет рост микробов. Для ускорения процессов посола и созревания применяют методы, такие как электростимуляция, шприцевание и механическая обработка. Результаты показывают, что опытные образцы соленой конины содержат больше влаги и имеют лучшую влагосвязывающую способность, что улучшает выход и сочность продукта. При этом прочностные характеристики у них ниже на 32% по сравнению с контрольными образцами. Микробиологические показатели соответствуют нормам, хотя на начальной стадии механической обработки наблюдается небольшой рост микроорганизмов. Тепловая обработка и использование парного сырья способствуют качеству продукта, а применение 13% посола и 6 часов циклической механической обработки ускоряет процесс посола и улучшает физико-химические свойства мяса.

Ключевые слова: конина, биотехнологические методы, посол мяса, физико-химические показатели, структурно-механические свойства.

ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ ЖЫЛҚЫ ЕТІНІҢ САПАСЫН ЖАҚСARTУДЫҢ BIOTEХНОЛОГИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ

¹С.Л. Гаптар, ²С.Б. Байтуkenова✉

¹Новосибирск мемлекеттік аграрлық университеті, Новосибирск, Ресей,

² Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

e-mail: saule7272@mail.ru

Бұл мақалада жылқы етінің сапасын жақсартуға бағытталған заманауи биотехнологиялық әдістер қарастырылады. Олардың әрекет ету принциптері ет құрылымына, дәмі мен тағамдық қасиеттеріне әсері қарастырылады.

Өндірістік циклды оңтайландыру және тұзды ет өнімдерінің сапасын жақсарту үшін, әсіресе қаттылығы жоғары жылқы етінен биотехнологиялық және физикалық өндеу әдістерін қолдану ұсынылады. Тиімді тәсілдердің бірі - ылғалмен байланысу қабілеті жоғары және микробтардың өсуін бәсеңдететін айқын бактериостатикалық қасиеттері бар балғын етті қолдану. Тұздау және жетілу процестерін

жеделдету үшін электрстимуляциялау, шприцтеу және өңдеу сияқты әдістер қолданылады. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, тәжірибелік үлгіде тұздалған жылқы етінің ылғалы көп және ылғалмен байланысу қабілеті жоғары, яғни өнімнің өнімділігі мен шырындылығын жақсартады. Бұл жағдайда олардың беріктік сипаттамалары бақылау үлгілерімен салыстырғанда 32%-ға төмен. Микробиологиялық көрсеткіштер нормаларға сәйкес келеді, дегенмен өңдеудің бастапқы кезеңінде микроорганизмдердің аз өсуі байқалады. Термиялық өңдеу және балғын ет шикізатын пайдалану өнімнің сапасына ықпал етеді, ал 13% тұзды және 6 сағаттық циклдік өңдеуді қолдану тұздау процесін тездетеді және физика-химиялық қасиеттерін жақсартады.

Түйін сөздер: жылқы еті, биотехнологиялық әдістер, етті тұздау, физика-химиялық көрсеткіштер, құрылымдық-механикалық қасиеттер.

THE USE OF BIOTECHNOLOGICAL METHODS TO IMPROVE THE QUALITY OF HORSE MEAT DURING PROCESSING

¹S.L. Gaptar, ² S.B. Baitukenova✉

¹Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia,

² Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,
e-mail: saule7272@mail.ru

This paper considers modern biotechnological methods aimed at improving the quality of horse meat. The principles of their action, influence on the structure, flavor and nutritional properties of meat are considered.

To optimize the production cycle and improve the quality of salted meat products, especially from horsemeat with high hardness, it is recommended to use biotechnological and physical processing methods. One of the effective approaches is the use of steam meat, which has a high moisture-binding capacity and pronounced bacteriostatic properties, which slows down the growth of microbes. Methods such as electrical stimulation, syringing and mechanical treatment are used to accelerate salting and ripening processes. The results show that experimental samples of salted horsemeat contain more moisture and have better moisture-binding capacity, which improves the yield and juiciness of the product. At the same time, their strength characteristics are lower by 32% compared to control samples. Microbiological parameters correspond to the norms, although at the initial stage of mechanical processing a small growth of microorganisms is observed. Heat treatment and the use of paired raw materials contribute to the quality of the product, and the use of 13% salting and 6 hours of cyclic mechanical processing accelerates the salting process and improves the physical and chemical properties of meat.

Keywords: horse meat, biotechnological methods, meat processing, physico-chemical parameters, structural and mechanical properties.

Введение. В условиях растущего спроса на устойчивое и экологически безопасное производство продуктов питания, биотехнологические методы становятся все более востребованными для переработки различных видов мяса, включая конину. Конина, несмотря на свою питательную ценность и уникальные органолептические свойства, остается недооцененным продуктом в ряде

регионов мира. Биотехнологические подходы, такие как ферментация, использование микроорганизмов и ферментов, позволяют значительно улучшить качество конины, продлить срок ее хранения, а также разработать новые виды продуктов на ее основе. Введение этих методов открывает новые перспективы для рационального использования ресурсов и улучшения продовольственной

безопасности, делая переработку конины более эффективной и экономически целесообразной.

Зарубежные ученые в настоящее время рассматривают современные биотехнологические методы, применяемые в процессе переработки конины. Исследование охватывает инновационные технологии, включая использование ферментов, микробиологических культур и генетически модифицированных организмов для улучшения качества и безопасности продукции [1].

Известны исследования совместного воздействия фермента бромелайн и бактериальных культур на мясо лошадей. Бромелайн, протеолитический фермент, использован для улучшения нежности мяса, а бактериальные культуры применяются для повышения окислительной стабильности мяса. Исследование показало улучшение физико-химических свойств, нежности и окислительной стабильности, предлагая новые способы увеличения срока хранения и качества конского мяса [2].

Применение микробиологических культур в процессе переработки конины рассматривают разнообразие микроорганизмов, используемых для улучшения качества продукта, включая повышение его пищевой ценности и безопасности. Также перспективы использования данных технологий в мясной промышленности [3, 4].

Известны различные биотехнологические подходы, включая использование ферментов и микробиологических культур, для улучшения текстуры, вкуса и безопасности продукции, где больше акцентирует внимание на важности соблюдения стандартов качества при применении данных методов [5, 6, 7].

Проводятся также исследования эффективности различных методов, включая использование пробиотических культур и ферментов, для улучшения органолептических характеристик и повышения пищевой ценности продукта. Работа подчеркивает перспективы внедрения данных методов в мясоперерабатывающее производство [8, 9].

Механическая обработка мяса конины, такая как измельчение и размягчение, может подгото-

вить мясо к процессу ферментации. В этом процессе микроорганизмы, такие как молочнокислые бактерии, используются для улучшения текстуры, вкуса и срока хранения продукта. Механическая обработка помогает разрушить соединительные ткани и клеточные структуры мяса, что облегчает последующий гидролиз белков. Использование ферментов, таких как протеазы, позволяет получить пептиды и аминокислоты, которые могут улучшить питательную ценность и вкус продукта. При помощи метода экстракции можно выделить белки из мяса конины для последующего использования в различных биотехнологических процессах. Например, экстрагированные белки могут быть использованы для создания функциональных продуктов.

Модификация структуры мяса, такая как эмульгирование и гомогенизация, может изменить текстуру мяса конины, улучшая его свойство в производстве мясных изделий. Это позволяет создавать продукты с желаемыми текстурными характеристиками и улучшенной консистенцией. Использование механических методов, таких как взбивание и перемешивание, может способствовать более равномерному распределению биотехнологических агентов (например, ферментов или микроорганизмов) в мясе, что улучшает эффективность процесса переработки и консистенцию конечного продукта.

Материалы и методы. Физико-химические показатели: ГОСТ 34567-2019 «Мясо и мясные продукты. Метод определения влаги, жира, белка, хлористого натрия и золы с применением спектроскопии в ближней инфракрасной области».

Определение pH в мясных продуктах производится в соответствии с ГОСТ 2878-82 «Мясо и мясные продукты. Метод определения pH».

Структурно-механические показатели: ГОСТ Р 50814-95 «Мясопродукты. Методы определения пенетрации конусом и игольчатым индентором»; ГОСТ 33609-2015 Мясо и мясные продукты. Органолептический анализ.

Результаты и обсуждение. В настоящее время получены и используются различные биологи-

ческие активные комплексы на основе продуктов убоя животных и растительного сырья. В качестве компонентов применяются различные ферменты, микробиологические культуры, красители, усилители вкуса и аромата, белковые препараты животного и растительного происхождения.

Внесение при обработке вышеуказанных комплексов в состав мясопродуктов с разрушенной структурой, например фаршевая композиция, в процессе перемешивания и массажируется дает достаточно равномерное их распределение. Важную роль здесь играет степень измельчения частиц, влагосодержание, растворимость и структурообразующие свойства добавок. Определенную трудность представляет введение многокомпонентных систем в мясопродукты с неразрушенной структурой, например, при посоле и обработке мяса, субпродуктов. Определенную трудность представляет введение многокомпонентных систем в мясопродукты с неразрушенной структурой, например, при посоле мяса. Для обеспечения равномерного распределения соли рекомендуются массажирование и интенсивный метод обработки мяса.

Для сокращения производственного цикла, трудовых затрат и улучшения качественных показателей соленых мясопродуктов необходимо использовать биотехнологические и физические методы обработки мясного сырья. Эта проблема особенно актуальна для производства мясопродуктов из конины, т.к. так как они обладают достаточно высоким содержанием межмышечной соединительной ткани и, следовательно, и повышенной жесткостью.

Одним из направлений улучшения качества и интенсификации производства соленых изделий является использование мяса в парном состоянии. Основным достоинством его является высокая влагосвязывающая способность (ВСС), которая зависит от активной реакции среды. Способность мяса удерживать влагу зависит от растворимости и эмульгирующих действий белков. В парном мясе она максимальная. Парное мясо обладает хорошо выраженными бактериостатическими свойствами по отношению ко многим видам бактерий, поэтому размножение микробов в нем замедляется. В зависимости от температуры бактериостатическая фаза удерживается от 3 до 24 ч.

Парное мясо обладает высокой влагосвязывающей способностью и при рН активности 5,9 поглощает в среднем 86% воды (охлажденное мясо только 33%). Преимущество парного мяса проявляется также при изучении свойств белков соединительной ткани [10].

Использование парного мяса для производства соленых изделий предусматривает применение специальных методов обработки (электростимуляция, шприцевание, механическая обработка) с целью ускорения гликолиза или процесса посола и созревания. Контрольный образец шприцевали традиционным методом посола в количестве 13% к массе сырья и выдерживали при температуре 0-4 °С в течение 6 ч. В таблицах 1 и 2 приведены результаты исследования физико-химические и структурно-механические показатели до и после обработки соленой конины в течение 6 часов:

Таблица 1 - Физико-химические показатели до и после обработки соленой конины

Показатель	до массажируется	после массажируется
массовая доля влаги, %	65,2±0,3	70,4±0,2
массовая доля белка, %	20,0±0,4	22,0±0,3
массовая доля жира, %	10,1±0,2	8,2±0,2
массовая доля соли, %	3,0±0,2	2,8±0,3
рН	5,8±0,3	6,0±0,3
Плотность, г/см ³	1,1±0,2	1,0±0,3
Жесткость, н/см ²	12,0±0,3	9,0±0,2

Таблица 2 - Структурно-механические показатели до и после обработки соленой конины

Показатель	до массирования	после массирования
Напряжение среза, кПа	32±0,2	26±0,3
Влагосвязывающая способность, %	55,3±0,2	65,1±0,3
Влагоудерживающая способность, %	60,1±0,2	75,3±0,2

После массирования отмечается снижение жесткости и силы сдвига, что указывает на улучшение текстуры продукта. Повышение влагосодержания и удержания влаги свидетельствует о более сочной и мягкой конине. Снижение содержания соли и повышение рН улучшают вкусовые качества. Сокращение времени готовности продукта делает его более удобным для потребителя. Общая оценка продукта после массирования выше, что говорит о положительном влиянии процесса на вкусовые и органолептические характеристики.

Эти результаты показывают, что циклическое массирование соленой конины в течение 6 часов значительно улучшает физико-химические и структурно-механические свойства продукта, делая его более привлекательным для потребителей.

Результаты исследований растворимости саркоплазматических белков соленой конины, обработанной белковым комплексом показали, что растворимость белков этой фракции при интенсивной обработке возрастает за счет взаимодействия их с ионами хлорида натрия. Наиболее существенным изменениям при посоле конины подвержены белки миозиновой фракции. По мере проникновения хлорида натрия в мышечную ткань конины наблюдается повышение растворимости миофибриллярных белков.

Высокая растворимость миофибриллярных белков мяса обусловлена низкой концентрацией водородных ионов, что обеспечивает им высокую стабильность.

Установлено, что извлекаемость водорастворимых белков конины находится в весьма специфичной зависимости от концентрации соли и продолжительности интенсивной обработки при

посоле. В процессе посола извлекаемость водорастворимых белков уменьшается в среднем на 10-15% в начале процесса, затем постепенно повышается.

Микроструктурные исследования показали, что в парной конине мышечные волокна расположены прямолинейно и проявляются их саркомеры, а после посола и механической обработкой мышечные волокна принимают волнообразный, складчатый характер. В местах S-образных изгибов чаще встречаются разрывы и разрушения миофибрилл. Разрыхление и волнообразные изгибы мышечных волокон увеличивают их диаметр на 20-25%, которые выявлены на поперечном срезе образцов при гистометрическом анализе мышечных волокон. Отмечено значительное количество микротрещин по ходу мышечных волокон, без заметных нарушений сарколеммы и структуры волокон.

Совокупность деструктивных изменений в конине ускоряет фильтрационное микрораспределение посолочных веществ и образование липкого поверхностного слоя из солерастворимых белков. Механическая обработка также способствует выходу тканевых ферментов из мышечных волокон и интенсификации вкусоароматообразования.

Сравнительные исследования влияния условий посола на изменения структурно-механических свойств конины указывают на прямую зависимость между гидратацией мышечных белков и нежностью мяса, приобретаемой в процессе посола с применением интенсивных методов обработки. Важное значение в улучшении консистенции мяса при посоле, несомненно, имеет изменение микроструктуры тканей.

Исследование образцов соленой конины по-

сле циклической механической обработки показали, что происходит разрыхление миофибриллярной структуры, деструкция и разрыв протофибрилл в области S-линий, смещение структурных элементов соседних миофибрилл по отношению друг к другу. Наблюдается дальнейшие повреждения целостности сарколеммы. Миофибриллярные структуры - растянутые и набухшие. В местах разрушения миофибрилл и образовавшихся пространств наблюдается скопление мелкозернистой белковой и жировой массы.

Применение биофизических методов для производства соленых изделий из конины продемонстрировало значительные преимущества по сравнению с традиционными способами переработки. В основе этих методов лежат современные физические воздействия, такие как электрофизическая обработка, использование ультразвука, электромагнитного поля и других технологий, способных изменять структуру мясных тканей и ускорять процессы посола.

Одним из главных преимуществ новой технологии является использование парного сырья, что позволяет сохранить природные вкусовые и питательные свойства мяса. Продукты, произведенные по этим методам, отличаются более высоким выходом готовой продукции благодаря сокращению потерь влаги и улучшению проникновения соли в ткань мяса. Это обеспечивает улучшенные органолептические качества, такие как вкус, цвет и аромат, что делает продукт более привлекательным для потребителей.

Кроме того, биофизические методы оказывают положительное влияние на структурно-механические характеристики мяса, делая его более мягким и сочным. Благодаря интенсивным методам обработки, процесс засолки ускоряется, что позволяет значительно сократить длительность производственного цикла. Это не только уменьшает затраты времени и ресурсов, но и повышает экономическую эффективность производства.

Образцы парной соленой конины подвергались тепловой обработке при температуре 85 °С до тех пор, пока температура в центре продукта не достигла 70-72 °С. Далее готовые изделия охлажда-

ли до температуры +4...+8 °С, после чего определяли их качество. Исследование показало следующие результаты: опытные образцы имели повышенное содержание влаги по сравнению с контрольными образцами. Это способствовало улучшению выходных показателей продукта; опытные образцы продемонстрировали высокую способность связывать влагу, что положительно сказалось на сочности конечного продукта. Вследствие улучшенной влагосвязывающей способности, выход продукта увеличился, а сочность значительно повысилась. Несмотря на улучшенные показатели сочности и выхода, прочностные характеристики опытных образцов снизились. Измерения напряжения среза показали снижение прочности на 32% по сравнению с контрольными образцами, что свидетельствует о более мягкой текстуре готового продукта. Таким образом, улучшение влагосвязывающих характеристик конины позитивно влияет на сочность и выход, однако снижает её механическую прочность.

Микробиологические показатели, как соленого полуфабриката, так и готовой продукции соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям. Отмечается небольшой рост общего числа микроорганизмов на начальной стадии механической обработки.

Тепловая обработка соленого полуфабриката положительно сказалась на качестве продукта. Использование парного сырья для производства соленых изделий особенно эффективно для малых предприятий, где нет возможностей для холодильного хранения мяса. При наличии компактных установок для механической обработки можно завершить процесс производства соленых изделий в течение 8-10 часов.

Выводы. Применение посола в количестве 13 % от массы сырья в сочетании с циклической механической обработкой в течение 6 часов значительно ускоряет процесс посола. Это также оказывает положительное влияние на физико-химические и структурно-механические свойства, как соленой конины, так и готового продукта. В результате обработки улучшаются характеристики соленого мяса, что способствует повышению его качества и стабильности в процессе хранения и дальнейшей переработки.

References

1. Lorea R. Beldarrain, Enrique Sentandreu, Noelia Aldai, Miguel A. Sentandreu // Horse meat tenderization in relation to post-mortem evolution of the myofibrillar sub-proteome. Meat Science.-2022. –Vol. 188. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108804>
2. Orynbekov D., Amirkhanov K., Kalibekkyzy Zh., Smolnikova F., Assenova B., Nurgazezova A., Nurymkhan G., Kassenov A., Baytukenova Sh., Yessimbekov Zh. Study on the combined effects of bromelain enzyme treatment and bacteria cultures on the physicochemical properties and oxidative stability of horse meat. -Processes 2024. –Vol. 12(8). <https://doi.org/10.3390/pr12081766>
3. Jazila El Malti, Hamid Amarouch. Microbial and physicochemical characterization of the horse meat in fermented sausage // Food Biotechnology. -2008. –Vol. 22(3). –P. 276-296, DOI:10.1080/08905430802262830
4. Marta Laranjo, Maria Eduarda Potes, Miguel Elias Role of Starter Cultures on the Safety of Fermented Meat Products // Food Microbiology. – 2019. -Vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00853>
5. Renata Stanisławczyk, Mariusz Rudy, Stanisław Rudy. The quality of horsemeat and selected methods of improving the properties of this raw material // Processes. – 2021. –Vol. 9(9). <https://doi.org/10.3390/pr9091672>
6. Lorenzo J.M., Maggiolino A., Sarriés M.V., Polidori P., Franco D., Lanza M., De Palo P. // Horsemeat: Increasing Quality and Nutritional Value. Springer, Cham. -2019. -P. 31-67. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05484-7_3
7. Il'ina N.M., Kucova A.E., Bujlenko Ju.S., Fomina T.Ju. Primenenie metodov biotekhnologii v mjasnoj promyshlennosti // Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. -2017. -Tom 5. -№ 3. -S. 21-28. doi:10.14529/food170303 [in Russian]
8. Ryspaeva U.A., Bajtukenova Sh.B., Bajtukenova S.B. Vliyanie propionovokislyh mikroorganizmov na kachestvennye pokazateli polukopchenoj kolbasy // Vestnik Almatinskogo tehnologicheskogo universiteta. -2023. -№4. –S. 83-90. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2023-4-83-90> [in Russian]
9. Dah-Sol Kim, Nami Joo (2020). Texture Characteristics of Horse Meat for the Elderly Based on the Enzyme Treatment // Food Sci Anim Resour. – 2020. –Vol. 40 (1). –P. 74-86. DOI: <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e86>
10. Амирханов К.Ж. Биотехнологические методы обработки парной конины // Все о мясе. -2009. - № 5. - С. 26-28.

Сведения об авторах

Гаптар С.Л. - заведующая кафедрой технологии пищевых производств и индустрии питания, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», Новосибирск, Россия, e-mail: 466485@mail.ru;

Байтуkenова С.Б.- к.т.н., ассоциированный профессор кафедры технологии и стандартизации, Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: saule7272@mail.ru

Information about the authors

Gaptar S.L. – Head of the Department of Food Production Technology and the Food Industry, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia, e-mail: 466485@mail.ru;

Baitukenova S.B. – Head of Department “Technology and Standardization”, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana,

Kazakhstan, e-mail: saule7272@mail.ru

РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ КОБЫЛЬЕГО МОЛОКА: АНАЛИЗ СОСТАВА, МЕТОДОВ И ВЫХОДОВ ПРОДУКЦИИ

¹А.Б. Рахматуллина, ^{1,2}Ф.Т. Диханбаева, ¹Д.А. Тлевлесова✉,

²М.К. Изтилеуов, ³Б.К. Калемшарив

¹Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан,

²Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,

³Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

✉Корреспондент-автор: tlevlessova@gmail.com

В статье представлено исследование по разработке и оптимизации технологии производства сухих молочных продуктов из кобыльего молока с использованием метода сублимационной сушки. Основной целью исследования являлось определение оптимальных условий сублимационной сушки для максимального сохранения питательных и биологически активных компонентов молока. В ходе экспериментов был проведен детальный анализ физико-химических свойств кобыльего молока, включая содержание белка, жира, лактозы и минеральных солей. Исследовались различные температурные режимы сублимационной сушки, чтобы определить их влияние на выход и качество сухого молока.

Результаты показали, что оптимальная температура сушки составляет около 35°C, при которой достигается максимальный выход сухого молока с минимальными потерями питательных веществ. Выход сухого молока составил 67.14 грамм на 600 грамм жидкого молока. Полученные данные были сопоставлены с существующими литературными данными, что подтвердило эффективность выбранного метода.

В статье также обсуждаются технологические параметры сублимационной сушки и их влияние на качество конечного продукта. На основе полученных результатов разработаны рекомендации по оптимизации процесса сушки кобыльего молока. Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение технологических процессов и увеличение выхода готовой продукции.

Ключевые слова: кобылье молоко, сублимационная сушка, оптимизация технологии, питательные вещества, физико-химический анализ.

БИЕ СҮТІН МҰЗДАТЫП КЕПТІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ОҢТАМАЛАНДЫРУ: ҚҰРАМЫН, ӘДІСТЕРІН ЖӘНЕ ӨНІМ ШЫҒЫМЫН ТАЛДАУ

¹А.Б. Рахматуллина, ^{1,2}Ф.Т. Диханбаева, ¹Д.А. Тлевлесова✉,

²М.Қ. Ізтілеуов, ³Б.Қ. Қалемшарив

¹Академик Ө.Ә. Жолдасбеков атындағы Механика және инженерия институты, Алматы, Қазақстан,

²Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,

³С.Сейфуллина атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті. Астана, Қазақстан,

e-mail: tlevlessova@gmail.com

Мақалада мұздатып кептіру әдісімен бие сүтінен құрғақ сүт өнімдерін өндіру технологиясын жаңсау және оңтайландыру бойынша зерттеу берілген. Зерттеудің негізгі мақсаты сүттің тағамдық және

биологиялық белсенді компоненттерін барынша сақтау үшін мұздату әдісімен кептірудің оңтайлы шарттарын анықтау болды. Тәжірибе барысында бие сүтінің құрамындағы ақуыз, май, лактоза және минералды тұздарды қамтитын физика-химиялық қасиеттеріне егжей-тегжейлі талдау жасалды. Құрғақ сүттің шығымы мен сапасына әсерін анықтау үшін мұздатып кептірудің әртүрлі температуралық жағдайлары зерттелді.

Нәтижелер кептірудің оңтайлы температурасы 35°C шамасында екенін көрсетті, бұл қоректік заттардың аз шығынымен сүт ұнтағының максималды шығымына қол жеткізеді. Құрғақ сүттің шығымы 600 грамм сұйық сүттен 67,14 грамм болды. Алынған мәліметтер таңдалған әдістің тиімділігін растайтын бар әдебиет деректерімен салыстырылды.

Сондай-ақ мақалада мұздатып кептірудің технологиялық параметрлері және олардың соңғы өнім сапасына әсері қарастырылған. Алынған нәтижелер бойынша бие сүтін кептіру процесін оңтайландыру бойынша ұсыныстар әзірленді. Әрі қарайғы зерттеулер технологиялық процестерді жетілдіруге және дайын өнімнің шығымдылығын арттыруға бағытталатын болады.

Түйін сөздер: бие сүті, мұздатып кептіру, технологияны оңтайландыру, қоректік заттар, физика-химиялық талдау.

DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF FREEZE-DRYING TECHNOLOGY FOR MARE'S MILK: COMPOSITION ANALYSIS, METHODS, AND PRODUCT YIELD

¹ A.B. Rakhmatulina, ^{1,2} F.T. Dikhanbayeva, ¹ D.A. Tlevlessova✉, ²M.K. Iztileuov, ³B.K.Kalemshariv

¹Institute of Mechanics and Engineering named after Academician U.A. Zholdasbekov, Almaty, Kazakhstan,

²Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,

³Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan,
e-mail: tlevlessova@gmail.com

The article presents research on the development and optimization of technology for producing powdered dairy products from mare's milk using the freeze-drying method. The main objective of the study was to determine the optimal freeze-drying conditions to preserve the nutritional and biologically active components of the milk. The experiments included a detailed analysis of the physicochemical properties of mare's milk, including protein, fat, lactose, and mineral salt content. Various freeze-drying temperature regimes were studied to determine their impact on the yield and quality of the powdered milk.

The results showed that the optimal drying temperature is approximately 35°C, at which maximum powdered milk yield is achieved with minimal nutrient loss. The powdered milk yield was 67.14 grams from 600 grams of liquid milk. The obtained data were compared with existing literature, confirming the effectiveness of the selected method.

The article also discusses the technological parameters of freeze-drying and their impact on the quality of the final product. Based on the results, recommendations for optimizing the process of freeze-drying mare's milk were developed. Further research will focus on improving technological processes and increasing the yield of the finished product.

Keywords: mare's milk, freeze-drying, technology optimization, nutrients, physicochemical analysis.

Введение. Цель данного исследования заключается в разработке технологии производства сухих молочных продуктов из кобыльего молока. В ходе работы были проведены анализы кобыльего молока и эксперименты по сублимационной сушке для определения оптимальных условий производства. Также был проведен анализ существующих научных исследований в области переработки кобыльего молока и сублимационной сушки молочных продуктов.

Разработка технологии сухих молочных продуктов из кобыльего молока требует глубокого понимания его состава и свойств, а также анализа существующих методов переработки и сушки. В данном разделе приведен обзор научных статей, посвященных различным аспектам кобыльего молока и его переработки.

Кобылье молоко имеет уникальный состав, который включает в себя высокое содержание лактозы и низкое содержание жира по сравнению с коровьим молоком. Оно богато витаминами (особенно витаминами группы В и витамином С) и минералами, такими как кальций, магний и фосфор. Эти свойства делают кобылье молоко ценным продуктом для детского и диетического питания. Например, в работе [1] указано, что кобылье молоко обладает высокой биологической ценностью, что подтверждается результатами наших анализов, показавшими содержание белка 4.64% и жира 3.67% .

В исследовании [2] обсуждается стабильность цвета ферментированного кобыльего молока и его адаптация к составу коровьего молока. Важность выбора технологий, которые увеличивают срок хранения и сохраняют питательные свойства молока, подчеркивается в их работе .

В работе [3] рассматривается производство кобыльего молока в маргинальных зонах и его потенциал как пищевого продукта. Авторы отмечают, что технологическая обработка, направленная на продление срока хранения молока, имеет важное значение для его использования в качестве коммерческого продукта.

Сублимационная сушка является предпочтительным методом для сохранения биологически

активных компонентов молока. Авторы работы [4] в своем обзоре подчеркивают, что сублимационная сушка позволяет сохранить структуру белков и витаминов, что особенно важно для кобыльего молока. В исследовании [5] обсуждаются функциональные свойства сублимационно высушенного кобыльего молока, включая его пенистые свойства, которые могут быть полезны для создания новых продуктов .

Кондыбаев А. и др. [6] в своем исследовании описывают производство ферментированных продуктов из кобыльего молока, таких как кумыс. Авторы подчеркивают важность ферментации для увеличения объема продукта и повышения содержания кислоты и этанола, что делает кумыс ценным диетическим продуктом .

Авторы [7] разработали ферментированный молочный продукт на основе кобыльего молока и молочнокислых микроорганизмов. Их исследование подчеркивает значение правильного выбора микроорганизмов для улучшения вкусовых и питательных свойств конечного продукта .

Авторы [8] изучали трансформацию традиционной индустрии кобыльего молока в Казахстане в креативную индустрию. Авторы обсуждают внедрение технологии вакуумной сублимации, которая позволяет производить высококачественные сухие молочные продукты из кобыльего молока, тем самым способствуя развитию местной экономики и улучшению качества жизни населения .

Сухое кобылье молоко используется в производстве различных продуктов, включая детские смеси, диетические добавки и косметические средства. Применение сухого кобыльего молока позволяет расширить спектр использования этого продукта и повысить его стабильность и срок хранения [9].

Анализ существующих научных статей подтверждает, что кобылье молоко обладает высокой питательной ценностью и уникальными свойствами, которые делают его ценным продуктом для различных применений. Сублимационная сушка является оптимальным методом для сохранения биологически активных компонентов мо-

лока, а ферментация позволяет создавать новые ценные продукты. Дальнейшие исследования направлены на оптимизацию процессов переработки и сушки кобыльего молока для повышения выхода и качества конечного продукта.

Цель исследования:

Разработка и оптимизация технологии производства сухих молочных продуктов из кобыльего молока с использованием метода сублимационной сушки для сохранения питательных и биологически активных компонентов.

Задачи исследования:

- провести детальный анализ физико-химических свойств кобыльего молока, включая содержание белка, жира, лактозы, минеральных солей и других компонентов.
- изучить влияние различных температурных режимов на выход и качество сухого кобыльего молока.
- Определить оптимальную температуру полков и давления в камере для максимального сохранения питательных веществ.
- провести экспериментальные исследования для определения выхода сухого молока при различных температурных режимах сублимационной сушки.
- Анализировать влияние температуры на эффективность сушки и выход конечного продукта.
- сравнить результаты экспериментов с существующими данными из научной литературы по сублимационной сушке молочных продуктов.
- Оценить преимущества и недостатки предложенной технологии в сравнении с аналогичными методами.
- на основе полученных данных разработать рекомендации по оптимизации процесса сублимационной сушки кобыльего молока.
- Предложить возможные направления для дальнейших исследований и улучшения технологии.

Материалы и методы.

Материалы

1. Кобылье молоко: 3 кг, жирность: 3.67%, белок: 4.64%, сухое вещество: 16.13%, СОМО:

12.46%, Минеральные соли: 1.03%, Плотность: 1.045 г/см³, Точка замерзания: -0.0529°C, Общ. белок: 4.57%, температура: 23.6°C, лактоза: 6.85%, Калорийность: 81.24 ккал, рН: 6.98, кислотность: 6°Т, содержание спирта: 0%

2. Оборудование:

- Сублимационная сушилка (Freeze Dryer), производство КНР,
- Аналитические весы,
- Термометры,
- рН-метр,
- Анализатор качества молока «Лактан 1-4» исполнение 220
- Вискозиметрический анализатор молока "Соматос-Мини"
- Лабораторные контейнеры и пробирки,

Методы

1. Кобылье молоко было собрано из фермы в Майкудуке и доставлено в лабораторию в стерильных условиях. Молоко было тщательно перемешано и разделено на части по 600 г для дальнейших экспериментов.

2. Анализ состава молока выполнялся на анализаторах молока.

- Минеральные соли: Определены методом озолоения.

- Точка замерзания: Определена с помощью криоскопа.

- Лактоза: Определена ферментативным методом.

- рН: Измерен с помощью калиброванного рН-метра.

- Кислотность: Определена титриметрическим методом.

3. Сублимационная сушка:

- Образцы молока по 600 г подвергались сублимационной сушке при различных температурных режимах (25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C).

- Температура полков и давление в камере контролировались и записывались каждые 4 минуты в течение эксперимента.

- Температура десублиматора поддерживалась

в пределах -23.9°C до -26.8°C .

4. Определение выхода сухого молока:

- По окончании сушки каждое высушенное молоко взвешивалось для определения массы сухого молока.

- Выход сухого молока рассчитывался как отношение массы сухого молока к исходной массе жидкого молока.

5. Анализ и обработка данных:

- Все измерения проводились в трехкратной повторности для обеспечения точности.

- Данные обрабатывались с использованием статистических методов для определения сред-

ней величины и стандартного отклонения.

- Результаты экспериментов сравнивались с литературными данными для оценки эффективности и качества полученного продукта.

Эти материалы и методы были выбраны на основе предварительных исследований и анализа существующей литературы. Применение данных методов позволило достичь высокой точности в измерении состава молока и эффективности сублимационной сушки, что подтверждено в ряде научных исследований

Результаты и обсуждение. Анализы кобыльего молока были проведены 30.05.2024 г. Результаты представлены в таблице 1:

Таблица 1-Результаты анализов свежего кобыльего молока (Майкудук)

№	Показатели	Количество
1	Жирность, %	3.67
2	Белок, %	4.64
3	Сухое вещество, %	16.13
4	СОМО, %	12.46
5	Минеральные соли %	1.03
6	Плотность, г/см ³	1.045
7	Точка замерзания, С	-0.0529
8	Общий белок, %	4.57
9	Температура С°	23.6
10	Лактоза 6.85, %	6.85
11	Содержание воды, %	0
12	Калорийность, ккал	81.24
13	рН	6.98
14	Кислотность Т°	6
15	Содержание спирта, %	-

Анализ кобыльего молока показывает, что оно обладает высоким содержанием белка (4.64%) и жира (3.67%). Высокая калорийность (81.24 ккал) и значительное содержание лактозы (6.85%) подтверждают его питательную ценность. Эти результаты согласуются с данными из научной литературы, где указывается на высокую биологическую ценность кобыльего молока, что делает его подходящим для использования

в детском и диетическом питании. Значение рН (6.98) и кислотность (6°Т) указывают на свежесть и хорошее качество молока.

Эксперименты по сублимационной сушке

В ходе экспериментов была определена выходная масса сухого молока при различных температурных режимах сублимационной сушки. Исходные данные и результаты представлены на рисунке 1:

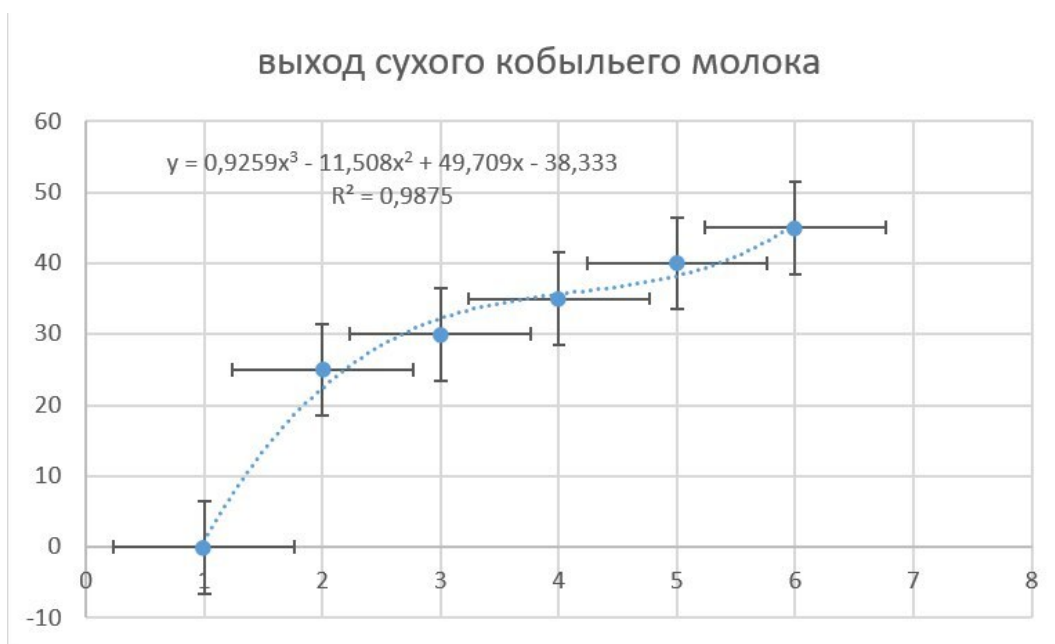


Рис. 1 – Выход сухого молока в зависимости от температуры

На представленной диаграмме (рис.1) изображена зависимость выхода сухого кобыльего молока от времени или других экспериментальных условий (ось X), где по оси Y обозначен выход продукта в граммах. График имеет форму полинома третьей степени (кубическая кривая), уравнение которой представлено как:

$$y = 0.926x^3 - 11.508x^2 + 49.7x - 38.33 \quad (1)$$

где y – выход сухого молока, x – время или другие условия эксперимента.

Значение коэффициента детерминации $R^2=0.9875$ указывает на высокую степень соответствия модели экспериментальным данным. Наблюдается увеличение выхода сухого молока по мере увеличения значения оси X до определенной точки, после чего рост стабилизируется или замедляется. График показывает, что на начальных стадиях эксперимента прирост выхода продукта наиболее интенсивный, затем он становится более плавным.

График содержит ошибки (погрешности) измерений, представленные в виде горизонтальных и вертикальных отрезков. Вертикальные отрезки показывают вариации в выходе сухого молока, что может быть связано с экспериментальными неточностями или естественной вариативностью

образцов. Горизонтальные отрезки указывают на вариации значений оси X, что также может отражать экспериментальные условия.

Из анализа графика следует, что существует оптимальная область значений оси X, при которых выход сухого молока максимален и стабилен. Это подтверждается стабилизацией кривой после определенного значения. Дальнейшее увеличение значения X приводит к снижению прироста выхода, что может свидетельствовать о достижении предела эффективности данного метода сублимационной сушки. Присутствие погрешностей указывает на необходимость учёта возможных отклонений в экспериментальных условиях и повторяемости результатов. Это важно для будущих исследований и масштабирования процесса. На основе полученных данных, рекомендуется проводить дальнейшие эксперименты в пределах оптимальной области значений оси X, чтобы максимизировать выход сухого молока и минимизировать затраты.

Необходимо также учитывать и минимизировать экспериментальные погрешности для повышения точности и повторяемости результатов.

Таким образом, проведенный анализ демонстрирует успешность выбранного метода и указывает на возможности дальнейшей оптимизации

процесса сублимационной сушки для повышения выхода сухого кобыльего молока.

Параметры при сушке кобыльего молока на сублимационной установке (Майкудук)

Процесс сушки был проведен при различных параметрах температуры полок и давления в камере. В таблице 2 приведены основные параметры:

Таблица 2- Параметры при сушке кобыльего молока на сублимационной сушке (Майкудук)

Время	Показатели	Ед. измерения	Значения				
	Температура полок	С°	24.7	29.6	34.7	39.9	44.6
09.30	Давление в камере	Па	57.8	57.8	57.8	57.8	57.8
	Температура десублиматора	С°	-23.9	-23.9	-23.9	-23.9	-23.9
	Температура полок	С°	24.7	29.7	34.8	39.7	44.9
09.34	Давление в камере	Па	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1
	Температура десублиматора	С°	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1
	Температура полок	С°	24.8	29.9	34.9	39.6	44.4
09.38	Давление в камере	Па	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
	Температура десублиматора	С°	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1
	Температура полок	С°	24.8	29.8	34.7	39.9	44.6
09.44	Давление в камере	Па	80.2	80.2	80.2	80.2	80.2
	Температура десублиматора	С°	-24.3	-24.3	-24.3	-24.3	-24.3
	Температура полок	С°	24.5	29.7	34.6	39.7	44.8
09.51	Давление в камере	Па	90.2	90.2	90.2	90.2	90.2
	Температура десублиматора	С°	-24.4	-24.4	-24.4	-24.4	-24.4
	Температура полок	С°	24.7	29.8	34.8	39.5	44.8
09.57	Давление в камере	Па	99.2	99.2	99.2	99.2	99.2
	Температура десублиматора	С°	-24.6	-24.6	-24.6	-24.6	-24.6
	Температура полок	С°	24.5	29.6	34.9	39.5	44.9
09.58	Давление в камере	Па	100	100	100	100	100
	Температура десублиматора	С°	-24.6	-24.6	-24.6	-24.6	-24.6
	Температура полок	С°	24.7	29.9	34.5	39.6	44.7
10.00	Давление в камере	Па	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3
	Температура десублиматора	С°	-24.6	-24.6	-24.6	-24.6	-24.6
	Температура полок	С°	24.6	29.8	34.9	39.9	44.5
10.02	Давление в камере	Па	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1
	Температура десублиматора	С°	-24.6	-24.6	-24.6	-24.6	-24.6

Таблица 2- Параметры при сушке кобыльего молока на сублимационной сушке (Майкудук)

Время	Показатели	Ед. измерения	Значения				
	Температура полок	С°	24.7	29.8	34.8	39.6	44.8
10.8	Давление в камере	Па	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
	Температура десублиматора	С°	-25.0	-25.0	-25.0	-25.0	-25.0
	Температура полок	С°	24.6	29.6	34.9	39.7	44.7
09.29	Давление в камере	Па	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4
	Температура десублиматора	С°	-26.8	-26.8	-26.8	-26.8	-26.8

Для оценки значимости различий в температурах полок был проведен дисперсионный анализ (ANOVA). Результаты анализа показали следующие значения: F-значение= 38069.58, р-значение= $2.09e^{-86}$. Значение р-значения ($2.09e^{-86}$) значительно меньше уровня значимости 0.05, что указывает на высокую статистическую значимость различий между температурами полок. Высокое F-значение (38069.58) подтверждает наличие существенных различий в температурах полок в разные временные интервалы. Соответственно, значительные различия в температурах полок указывают на то, что различные температурные режимы оказывают значительное влияние на процесс сублимационной сушки.

Выводы. Результаты подтверждают важность тщательного контроля температурного режима полок и давления в камере для обеспечения максимального выхода и качества сухого кобыльего молока. Это согласуется с выводами из статей 2024 года, таких как работы в [10] и [11], которые подчеркивают значимость оптимальных условий для сохранения биологически активных компонентов молока.

Оптимальные параметры сублимационной сушки:

Оптимальные температуры полок (34.7°C - 39.9°C) и стабильное давление (57.8 Па - 100 Па) обеспечивают максимальный выход сухого молока и сохранение его качественных характеристик. Эти данные подтверждаются исследованиями, представленными в специальных выпусках и статьях [10, 12].

Практическое применение результатов:

Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации промышленного процесса производства сухого кобыльего молока. Это подтверждается работами, опубликованными в 2024 году, которые подчеркивают значимость правильного выбора технологических параметров для улучшения качества конечного продукта.

Дальнейшие исследования:

Для уточнения оптимальных параметров процесса сублимационной сушки и изучения их влияния на сохранение питательных и биологически активных компонентов кобыльего молока необходимы дальнейшие исследования.

Таким образом выводы и рекомендации согласуются с существующей научной литературой, подтверждая эффективность и важность выбранных методов для производства качественного сухого кобыльего молока

Рекомендации

- для обеспечения максимального выхода сухого молока рекомендуется поддерживать температуру полок в пределах 34.7°C - 39.9°C .
- необходимо поддерживать давление в камере в пределах 57.8 Па - 100 Па для обеспечения стабильного процесса сушки.
- температура десублиматора должна оставаться в диапазоне от -23.9°C до -26.8°C для сохранения качественных характеристик молока.
- рекомендуется проведение дальнейших исследований для уточнения оптимальных параметров процесса сублимационной сушки и изуче-

ния их влияния на сохранение питательных и биологически активных компонентов кобыльего молока.

Таким образом, представленные данные и их анализ дают четкое понимание о ключевых параметрах процесса сублимационной сушки кобыльего молока, что способствует улучшению его эффективности и качества.

Финансирование. Данное исследование финансировалось/финансируется Комитетом по науке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21881957 Разработка технологии глубокой переработки и оборудования вакуум-сублимационной сушки кобыльего и верблюжьего молока.

Литература

1. Salimei E., Fantuz F. Equid milk for human consumption // International Dairy Journal. -2012. -Vol. 24(2), -P. 130-142. DOI 10.1016/J.IDAIRYJ.2011.11.008
2. Teichert J., Cais-Sokolińska D., Danków R., Pikul J. Color stability of fermented mare's milk and a fermented beverage from cow's milk adapted to mare's milk composition. Foods. mdpi.com. -2020. –Vol. 9(2). DOI 10.3390/foods9020217
3. Miraglia, N., Salimei, E., & Fantuz, F. Equine milk production and valorization of marginal areas-A review. Animals. mdpi.com. -2020. –Vol. 10(2). DOI 10.3390/ani10020353
4. Ratti, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review // Journal of Food Engineering, -2001. –Vol. 49(4). –P. 311-319. DOI 10.1016/S0260-8774(00)00228-4
5. Cais-Sokolińska, D., Teichert, J., & Gawalek, J. Foaming and other functional properties of freeze-dried mare's milk. Foods. mdpi.com. -2023. –Vol. 12(11). DOI 10.3390/foods12112274
6. Kondybayev, A., Loiseau, G., Achir, N., Mestres, C., & Shaikh, A. Fermented mare milk product (Qymyz, Koumiss) // International Dairy Journal. Elsevier. -2021. –Vol. 119. DOI 10.1016/J.IDAIRYJ.2021.105065
7. Simonenko E.S., Begunova A.V. Development of fermented milk product based on mare milk and lactic microorganisms association. Vopr Pitan. voprosy-pitaniya.ru. -2021. –Vol. 90(5). –P. 115-125 DOI 10.33029/0042-8833-2021-90-5-115-125
8. Baibokonov, D., Yang, Y., & Tang, Y. Understanding the traditional mares' milk industry's transformation into a creative industry: Empirical evidence from Kazakhstan // Growth and Change. -2021. –Vol. 52(1). DOI10.1111/grow.12478
9. Hinz, K., O'Connor, P. M., Huppertz, T., Ross, R. P., & Kelly, A. L. Comparison of the principal proteins in bovine, caprine, buffalo, equine and camel milk // Journal of Dairy Research. -2012. –Vol. 79(2). –P. 185-191. DOI10.1017/s0022029912000015
10. Cais-Sokolińska D., Teichert J., Gawalek J. Foaming and Other Functional Properties of Freeze-Dried Mare's Milk // Foods. -2024. –Vol. 12(11). <https://doi.org/10.3390/foods12112274>
11. Milkify's Freeze-Drying Benefits // Milkify. -2024. URL: <https://www.milkify.me>
12. Bhatta S., Stevanovic Janezic T., Ratti, C. Freeze-Drying of Plant-Based Foods // Foods. -2024. –Vol. 9. DOI10.3390/foods9010087.

Сведения об авторах

Рахматулина А.Б.- PhD, доцент, Отдел машиноведения и робототехники Институт механики и машиноведения имени академика У. А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан, e-mail: kazrah@mail.ru; Диханбаева Ф.Т. – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология продуктов питания»,

Алматинский технологический университет, Институт механики и машиноведения имени академика У. А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан, e-mail: fatima6363@mail.ru;

Тлевлесова Д.А.– PhD, ассоциированный профессор, ТОО «КазНИИППП», Институт механики и машиноведения имени академика У. А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан, e-mail: tlevlessova@gmail.com;

Изтилеуов М.К.-магистр., Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, email: m.iztileuov@mail.ru;

Калемшарив Б. – докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, e-mail: begjan.ae@gmail.com.

Information about authors

Rakhmatulina A.B. – PhD, Associate Professor, Institute of Mechanics and Engineering named after Academician U.A. Zholdasbekov, Almaty, Kazakhstan, e-mail: kazrah@mail.ru;

Dikhanbaeva F.T. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of "Food Technology," Almaty Technological University, Institute of Mechanics and Engineering named after Academician U.A. Zholdasbekov, Almaty, Kazakhstan, e-mail: fatima6363@mail.ru;

Tlevlessova D.A. – PhD, Associate Professor, LLP "KazNII PPP," Institute of Mechanics and Engineering named after Academician U.A. Zholdasbekov, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tlevlessova@gmail.com;

Iztileuov M.K. – Master's Degree, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.iztileuov@mail.ru;

Kalemshariv B. – Doctoral Candidate, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan, e-mail: begjan.ae@gmail.com.

ПРОИЗВОДСТВО ОБОГАЩЕННЫХ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ КОМПЛЕКСОМ НАНОКАРБОКСИЛАТОВ И ТОНКОДИСПЕРСНЫМ ПОРОШКОМ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

¹Д.А. Шаймерденова✉, ²А.М. Омаралиева, ³Б.К. Тарабаев, ¹Л.Т. Сарбасова,

¹С.С. Ануарбекова, ¹Д.Б. Искакова, ¹А.А. Шаймерденов, ¹Д.А. Тастанов

¹ТОО «Научно-производственное предприятие «Инноватор», Астана, Казахстан,

² Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан,

³ Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

✉Корреспондент-автор: e-mail: darigash@mail.ru

Объект исследований – макаронные изделия, обогащённые тонкодисперсной мукой из гречихи и чечевицы, и комплексом нанокарбоксилатов.

По данным аналитиков, потребление макаронных изделий в Казахстане — одно из самых высоких в мире, Казахстан уступает в этом только Италии. За январь – декабрь 2022 года производство макарон составило 166,1 тыс. тонн, что на 4% больше, чем в 2021 году [1].

Учитывая, что макаронные изделия популярны и потребляются в большом количестве, имеется возможность реально и эффективно проводить профилактику различных видов заболеваний с помощью выпуска изделий с использованием обогащающих комплексов микроэлементов и витаминов. Тем более, что основным сырьем для производства макарон является «обедненная» пшеничная мука высшего сорта. В то же время, продукты питания серьёзно дорожают, что неизбежно сказывается на продовольственной безопасности республики [1].

В этой связи необходима разработка отечественных технологий производства обогащённых макаронных изделий, что позволит повысить их конкурентоспособность за счет снижения себестоимости.

В рамках исследований получены макаронные изделия, обогащенные наиболее ценной по содержанию белка и клетчатки чечевичным и гречневый тонкодисперсным порошком в количестве 10%. Для обогащения макаронных изделий микро- и макроэлементами произведен подбор и расчет рецептур нанокарбоксилатов с установлением их количества, исходя из норм потребления человека. По химическому и микроэлементному составу определены наиболее полноценные добавки.

Результаты исследований позволили установить, что потребительские свойства макаронных изделий, обогащенных тонкодисперсным порошком из гречихи, соответствуют нормативным показателям. Комплекс нанокарбоксилатов не повлиял на потребительские свойства макарон, но значительно увеличил содержание магния и цинка.

Ключевые слова: макаронные изделия, тонкодисперсный порошок, нанокарбоксилаты, микроэлементы, чечевичная мука, гречневая мука.

НАНОКАРБОКСИЛАТТАР КЕШЕНІМЕН ЖӘНЕ ДӘНДІ ДАҚЫЛДАРДЫҢ ЖҰҚА ДИСПЕРСТІ ҰНТАҒЫМЕН БАЙЫТЫЛҒАН МАКАРОН ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУІ

¹Д.А. Шаймерденова✉, ²А.М. Омаралиева, ³Б.К. Тарабаев, ¹Л.Т.Сарбасова,

¹С.С. Ануарбекова, ¹Д.Б. Искакова, ¹А.А. Шаймерденов, ¹Д.А. Тастанов

¹«Инноватор» Ғылыми-өндірістік кәсіпорны» ЖШС, Астана, Қазақстан,

² Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

³ С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан,
e-mail: darigash@mail.ru

Зерттеу нысаны-қарақұмық пен жасымық ұнымен және нанокарбоксилаттар кешенімен байытылған макарон өнімдері.

Сарапшылардың пікірінше, Қазақстанда макарон өнімдерін тұтыну әлемдегі ең жоғары көрсеткіштердің бірі болып табылады, Қазақстан бұл жағынан Италиядан кейін екінші орында. 2022 жылдың қаңтар – желтоқсан айларында макарон өндірісі 166,1 мың тоннаны құрады, бұл 2021 жылмен салыстырғанда 4% - ға өсті [1]

Макарон өнімдері танымал және көп мөлшерде тұтынылатындығын ескере отырып, микроэлементтер мен дәрумендерді байытатын кешендерді қолдана отырып, өнімдерді шығару арқылы әртүрлі аурулардың алдын-алуды нақты және тиімді жүргізуге болады. Сонымен қатар, макарон өндірісінің негізгі шикізаты-жоғары сортты ”сарқылған” бидай ұны. Сонымен қатар, Азық-түлік қатты бағаланады, бұл сөзсіз республиканың азық-түлік қауіпсіздігіне әсер етеді [1].

Осыған байланысты байытылған макарон өнімдерін өндірудің отандық технологияларын әзірлеу қажет, бұл өзіндік құнын төмендету есебінен олардың бәсекеге қабілеттілігін арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеулер аясында 10% мөлшерінде жасымық және қарақұмық жұқа дисперсті ұнтағымен ақуыз және талшық құрамы бойынша ең құнды байытылған макарон өнімдері алынды. Макарон өнімдерін микро және макроэлементтермен байыту үшін нанокарбоксилаттардың рецептураларын тандау және есептеу адамның тұтыну нормаларына сүйене отырып, олардың санын белгілеу арқылы жүзеге асырылады. Химиялық және микроэлементтік құрамы бойынша ең толыққанды қоспалар анықталды.

Зерттеу нәтижелері қарақұмық ұнтағымен байытылған макарон өнімдерінің тұтынушылық қасиеттері нормативтік көрсеткіштерге сәйкес келетіндігін анықтады. Нанокарбоксилат кешені макаронның тұтынушылық қасиеттеріне әсер етпеді, бірақ оның құрамын едәуір арттырды сиқыр және мырыш.

Түйін сөздер: макарон, жұқа дисперсті ұнтақ, нанокарбоксилаттар, микроэлементтер, жасымық ұны, қарақұмық ұны.

PRODUCTION OF ENRICHED PASTA PRODUCTS WITH A COMPLEX OF NANOCARBOXYLATES AND FINE-DISPERSED CEREAL FLOUR

¹D.A. Shaimerdenova ✉, ²A.M. Omaralieva, ³B.K. Tarabaev, ¹L.T. Sarbasova,
¹S.S. Anuarbekova, ¹D.B. Iskakova, ¹A.A. Shaimerdenov, ¹D.A. Tastanov

¹«Research and Production Enterprise «Innovator» LLP, Astana,

²K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,

³Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan,

e-mail : darigash@mail.ru

The object of research is pasta enriched with fine flour from buckwheat and lentils, and a complex of nanocarboxylates.

According to analysts, the consumption of pasta in Kazakhstan is one of the highest in the world, Kazakhstan is second only to Italy in this. In January – December 2022, pasta production amounted to 166.1 thousand tons, which is 4% more than in 2021 [1]

Considering that pasta is popular and consumed in large quantities, it is possible to really and effectively prevent various types of diseases by producing products using enriching complexes of trace elements and vitamins. Moreover, the main raw material for the production of pasta is "depleted" wheat flour of the highest grade. At the same time, food is seriously becoming more expensive, which inevitably affects the food security of the republic [1].

In this regard, it is necessary to develop domestic technologies for the production of enriched pasta, which will increase their competitiveness by reducing the cost.

As part of the research, the most valuable fortified pasta in terms of protein and fiber content was obtained with a fine-dispersed powder of lentils and buckwheat in an amount of 10%. The selection and calculation of the formulations of nanocarboxylates for the enrichment of pasta with micro and Macroelements is carried out by establishing their number, based on the norms of human consumption. The most complete additives in terms of chemical and microelement composition were identified.

The results of the study found that the consumer properties of pasta enriched with buckwheat powder correspond to regulatory indicators. The nanocarboxylate complex did not affect the consumer properties of pasta, but significantly increased the content of maggot and zinc.

Keywords: pasta, fine powder, nanocarboxylates, trace elements, lentil flour, buckwheat flour.

Введение. Макароны — популярный во всем мире продукт питания, известный простотой приготовления, хорошей стабильностью при хранении, низкой стоимостью, простотой приготовления и низким гликемическим индексом (ГИ). Макароны состоят в основном из углеводов (70–76%), белков (~10–14%), липидов (~1,8%), пищевых волокон (~2,9%) и небольшого количества минералов и витаминов. Углеводы же в пищевых продуктах являются важным источником энергии для человека [2]. Однако, в макаронах мало пищевых волокон, витаминов, незаменимых аминокислот и минералов [2], т.к. при помоле для приготовления макаронной муки происходит потеря этих компонентов. Макароны можно считать хорошим средством для включения биологически активных ингредиентов (белков, фитохимических веществ, минералов, витаминов и т. д.), как это признано Всемирной организацией здравоохранения и Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США, поскольку в некоторых ситуациях до 10–15% нетрадиционных ингредиентов могут быть добавлены без существенной потери качества макаронных изделий в зависимости от используемого ингредиента и технологии обработки макаронных изделий [3,4].

Однако, польза от добавленного ингредиента,

которую предполагается обеспечить, может быть ограничена таким уровнем включения. При разработке пищевых продуктов с биологически активными соединениями получаемые продукты часто имеют технологические недостатки, нежелательный внешний вид и органолептические свойства, что делает их менее привлекательными для потребителей или просто нерентабельными в производстве.

Основным сырьем, применяемым в макаронном производстве, является пшеничная мука. Действующий в Казахстане нормативный документ [5] предусматривает использование в качестве основного сырья макаронного производства пшеничной муки высшего или I сортов. Лучшим сырьем для макарон является специальная макаронная мука из твердой или высокостекловидной мягкой пшеницы. Из такой муки получают изделия лучшего качества, имеющие янтарно-желтый или соломенно-желтый цвет.

Мука, используемая в макаронном производстве, не должна содержать в значительных количествах свободные аминокислоты, редуцирующие сахара и активную полифенолоксидазу (тирозиназу), вызывающую потемнение теста и ухудшение качества готовых изделий. Вода является составной частью макаронного теста. Она обуславливает биохимические и физико-

химические свойства теста. Используют водопроводную питьевую воду, которая должна быть умеренно жесткой и отвечать требованиям нормативных документов на питьевую воду [6].

За последние два десятилетия было проведено много исследований по повышению питательной ценности макаронных изделий за счет включения нетрадиционных ингредиентов из-за спроса потребителей, заботящихся о своем здоровье, на функциональные продукты [7,8]. Эти ингредиенты могут влиять на технологические свойства макаронных изделий, но их воздействие на здоровье не всегда измеряется, а скорее предполагается [9].

Так, в последнее время макаронные фабрики выпускают макаронные изделия, при производстве которых могут применяться такие добавки, как томат-пасты, шпинат, щавель, морковный сок. Не менее ценными являются макаронные изделия, обогащенные минеральными веществами и с повышенным содержанием пищевых волокон.

Однако, ассортиментный ряд макаронных изделий функциональной направленности в настоящее время не так обширен. В виду плохой экологической обстановки в мире, а также малоподвижного образа жизни люди страдают от нехватки разного рода витаминов и полезных веществ. Именно поэтому возник острый вопрос в обогащении продуктов повседневного питания человека витаминами, минеральными и прочими полезными веществами [10].

В последнее время широко применяются для обогащения макаронных изделий порошкообразные растительные источники, неоспоримым преимуществом которых является высокая концентрация биологически активных веществ, т.к. их масса меньше массы исходного сырья в 6-8 раз, имеется возможность использования при производстве мучных изделий с низкой влажностью, ввиду этого - длительный срок хранения и хорошая транспортабельность [11].

Ввиду этого, применение тонкодисперсных растительных порошков из зерновых культур в качестве обогатителей и улучшителей макаронных изделий представляет значительный инте-

рес.

Тонкодисперсный порошок из зерна зерновых и бобовых культур — это цельнозерновой продукт, получаемый в результате технологической обработки зерна, т.е. измельчения.

Главным вопросом, требующим решения в настоящее время, является изучение возможности расширения видов муки из зерновых культур и нормы внесения, которые позволят как повысить пищевую ценность, так и сохранить высокие потребительские качества макаронных изделий.

Анализ литературы показывает, что среднесуточное потребление с пищей каждого микронутриента, необходимого для поддержания нормальной физиологической деятельности человека, измеряется в миллиграммах или в меньших количествах и отличаются от макроэлементов (углеводов, жиров и белков) и макроминералов (кальция, магния и фосфора).

Диетическая потребность человека в любом микронутриенте определяется многими факторами, включая его биодоступность, количество, необходимое для поддержания его нормальных физиологических функций и прочих факторов [12].

В то же время, по мнению экспертов, недостаток макро- и микроэлементов приводит к значительным проблемам со здоровьем. В связи с этим возникает жизненно-необходимая потребность в искусственном обогащении рациона ими для обеспечения современного человека необходимым набором минеральных веществ.

Так, например, на сегодня большинство жителей США, европейских стран, Японии и все увеличивающаяся часть населения менее развитых стран вынуждены регулярно употреблять дополнительные количества питательных веществ. По данным американских ученых-диетологов, среднестатистический рацион современного американца обеспечивает лишь 50–60 % рекомендованной суточной потребности в магнии (дефицит магния отмечен у 75–85 % обследованных жителей США), лишь на 50 % – меди, селена, кальция, около 70 и 90 % человек недополучают с пищевыми продуктами цинка и хрома [13].

Дефицит микроэлементов приводит к негативным последствиям для здоровья. Так, анализ научных данных о некоторых наиболее важных микро- и макроэлементах и их воздействия на организм человека, показало следующее.

Недостаток цинка вызывает заболевания центральной нервной, желудочно-кишечной, иммунной, эпидермальной, репродуктивной и костной систем, может повысить восприимчивость к болезням и инфекциям, увеличить время восстановления или, в некоторых случаях, ухудшить восстановление, снизить умственную работоспособность и увеличить последствия осложнений. Распространенность дефицита цинка в странах Африки и Южной Азии варьируется от 15 до 50% [14]. По данным других исследователей, дефицит цинка затрагивает более половины населения мира [15]. Казахстан, относясь к странам с невысоким уровнем дохода населения, также подвержен риску дефицита цинка в рационе питания населения.

Дефицит селена связан с сердечно-сосудистыми заболеваниями, бесплодием, митохондриальными заболеваниями и снижением когнитивных функций. В настоящее время изучается роль селена в лечении рака. По данным китайских ученых, результаты 8-летнего наблюдения показали снижение заболеваемости первичным раком печени на 35,1% у пациентов с добавлением селенизированной поваренной соли по сравнению с населением, не получавшим такой добавки [16-17]. Дефицит селена затрагивает от 500 млн. до 1 млрд. человек во всем мире из-за недостаточного его потребления [18].

Магний является четвертым наиболее распространенным катионом в организме и вторым наиболее распространенным внутриклеточным катионом после калия [19], участвует в синтезе белков, нуклеиновых кислот, обладает стабилизирующим действием для мембран, необходим для поддержания гомеостаза кальция, калия и натрия. Недостаток магния приводит к гипомagneмии, повышению риска развития гипертонии, болезней сердца. Магний является важным минералом для минерализации костей, мышечной релаксации и ряда других клеточных функций [20].

Дефицит магния распространен во всем мире. Так, по данным Costello R.V. et al. [21] приблизительно 50% американцев потребляют меньше, чем расчетная средняя потребность в магнии, а некоторые возрастные группы потребляют значительно меньше.

При этом наиболее важным вопросом при обогащении микроэлементами макаронных изделий является форма их внесения, обуславливающая их биодоступность.

Так, анализ литературных данных показывает, что, в основном, применяемые способы обогащения направлены на внесение одного микроэлемента или его комплекса с витаминами. Значительное количество исследований направлено на разработку витаминно-минеральных комплексов с железом [22]. Однако, исследования показывают, что основной проблемой является низкая усвояемость вносимых микро- и макроэлементов.

В последнее время достижения нанотехнологий позволяют синтезировать такие химические соединения, получение которых с помощью классических химических реакций или вообще невозможно, либо очень проблематично. Создано приоритетное направление в нанотехнологии, с помощью которого получены чрезвычайно химически чистые карбоксилаты основных пищевых кислот биогенных металлов (цинка, магния, марганца, железа, меди, кобальта, молибдена и др.). Поскольку при получении указанных карбоксилатов были непосредственно применены нанотехнологии, они были названы «нанокарбоксилатами». [23].

Ввиду этого, применение нанокарбоксилатов макро-и микроэлементов значительно повысят пищевую ценность макаронных изделий.

Таким образом, обогащение таких продуктов повседневного спроса, как макаронные изделия, комплексом микроэлементов и тонкодисперсной мукой зерновых культур является востребованной технологией.

В данной работе представлены результаты обогащения макаронных изделий комплексом нанокарбоксилатов и тонкодисперсной мукой гречихи

и чечевицы.

Материалы и методы. При выполнении работы использовали стандартные, общепринятые физико-химические методы исследований. Перечень использованных в исследованиях материалов и нормативных документов, которым они соответствовали:

- пшеница – ГОСТ 9353 - 2016; чечевица – ГОСТ 7066 - 2019; гречиха – ГОСТ 19092 - 2021; пшеничная мука - ГОСТ 26574 - 2017; вода питьевая - СТ РК ГОСТ Р 51232 - 2003; смесь карбоксилатов магния, цинка, селена по ТУ У 15.8-35291116-014:2011.

Показатели качества определяли в соответствии с методиками, изложенными в следующих нормативных документах: определение содержания: белка - по ГОСТ 10846-91; жира - по ГОСТ 29033-91; клетчатки - по ГОСТ 13496.2-91; углеводов – по ГОСТ 25832-89; показатели микробиологической безопасности (дрожжи, плесени) - по ГОСТ 10444.12-2013; определение магния и цинка – по ГОСТ 32343-2013; селена -ГОСТ 31707-2012.

Мучная смесь включала пшеничную макаронную муку высшего сорта, тонкодисперсный порошок из гречихи и чечевицы, и отдельно комплекс микроэлементов из магния, селена, цинка. По рекомендации производителей и для лучшего эффекта повышения микроэлементного состава макарон комплексы микроэлементов вводят в макаронны в составе мучной смеси в сухом виде.

В качестве комплексных микроэлементов были использованы нанокарбоксилаты полученных с помощью нанотехнологий учеными украинского НИИ нанобиотехнологий. Нанокарбоксилаты были получены по реакции взаимодействия наночастиц металлов, наночастиц оксидов металлов и наночастиц гидроксидов металлов непосредственно с карбоновой кислотой (Патент Украины на полезную модель 39392, МПК С07С 51/41, С07F 5/00, С07F 15/00, С07С 53/126 (2008.01), С0.7С 53/10 (2008.01), А23L 1/00, В82В 3/00. Оpubл. 25.02.2009, Вюл.Ш 4, 2009 р.).

Количество комплексных микроэлементов были рассчитаны в соответствии с рецептурами, в зависимости от среднесуточной потребности в микроэлементах человека (таблица 1).

Таблица 1 - Расчет рецептуры комплексных микроэлементов

№	Расчет рецептуры комплекса нанокарбоксилатов
1	При среднемесечном потреблении макарон в количестве 1,5 кг их среднее суточное потребление будет составлять: 1,5 кг: 30 дней = 0,05 кг = 50 г.
2	Средние рекомендуемые величины суточного потребления человеком микроэлементов составляют: магния – 375 мг; цинка – 10 мг; селена – 55 мкг [24]
3	Продукты питания считаются обогащенными микроэлементами, если в 100 г продукта добавлено не менее 15% рекомендуемой величины суточного потребления человеком микроэлементов, то есть: магния – 375 мг x 0,15 = 56,25 мг цинка – 10 мг x 0,15 = 1,5 мг селена – 55 мкг x 0,15 = 8,25 мкг
4	Соответственно, в 50 г макарон должно содержаться: магния – 56,25 мг x 0,50 = 28,12 мг цинка – 1,5 мг x 0,50 = 0,75 мг селена – 8,25 мкг x 0,50 = 4,13 мкг
5	В нанокарбоксилатах микроэлементов, полученных с помощью нанотехнологий, содержится следующее количество собственно микроэлементов: магния – 10,5 %; цинка – 29,2 %; селена – 11,2 %

Таблица 1 - Расчет рецептуры комплексных микроэлементов

№	Расчет рецептуры комплекса нанокарбоксилатов
6	Соответственно к 50 г макаронной муки необходимо добавить следующее количество нанокарбоксилатов: магния –28,12 мг : 10,5 % x 100 % = 267 мг цинка –0,75 мг : 29,2 % x 100 % = 2,57 мг селена – 4,13 мкг : 11,2 % x 100 % = 36,9 мкг
7	Соответственно, к 1000 г макаронной муки следует добавить: магния –267 мг x 20 =5340 мг ~ 5 г 340 мг цинка – 2,57 мг x 20 =514 мг = 0,514 г селена –36,9 мкг x 20 = 739 мкг ~ 0,000739 г
8	Соответственно, необходимо будет приготовить следующее количество нанокарбоксилатов микроэлементов для добавки к 1000 г макаронной муки: Рецептура Mg + Zn + Se: 5 г 340 мг + 0,514 г + 0,000739 г =5,855 г.

Таблица 2 - Рецепт макарон, обогащенных тонкодисперсными порошками гречневой и чечевичной муки

Наименование сырья	Расход сырья, %	
	Контроль	Опытные образцы обогащенных макаронных изделий
Мука пшеничная макаронная высшего сорта	100	90
Тонкодисперсные порошки из гречневой муки	0	10
Тонкодисперсные порошки из чечевичной муки	0	10
Вода питьевая	По расчету	По расчету

По данным анализа источников, количество вносимых порошков тонкодисперсной муки взяты в количестве 10%, как наиболее оптимальное. Разработана рецептура обогащённых макарон (табл.2).

Математическая обработка результатов проводилась с использованием стандартных компьютерных программ MS Office Excel 2010 по общепринятым методикам. Результаты экспериментальных исследований представлены среднестатистическими значениями, определенными из трех параллельных измерений. при помощи

Для отбора наиболее перспективных с точки зрения использования как улучшителей макаронных изделий тонкодисперсных порошков внимание уделялось содержанию белка и клетчатки, как ценных и востребованных компонентов растительного сырья.

высушивания.

Результаты и обсуждение. В целях изучения возможности получения специальных добавок из отечественного сырья проведен химический и микробиологический анализ тонкодисперсных порошков из зерновых и бобовых культур, по анализу литературы определенные, как наиболее полноценные по химическому составу (таблица 3).

Полученные данные позволили определить наиболее ценные тонкодисперсные порошки из зерновых и зернобобовых культур.

Результаты химического состава полученных образцов показали, что зернобобовые культуры обладают высоким содержанием массовой доли белка (табл. 3). Максимальное значение содержится в тонкодисперсном порошке из чечевицы, что составляет 22,82%. Полученные данные

Таблица 3 - Химический и микробиологический анализ тонкодисперсных порошков из зерновых и зернобобовых культур

Наименование	Химические показатели				Показатели микробиологической безопасности	
	массовая доля, %				дрожжи, КОЕ/г	плесени, КОЕ/г
	белка	жира	клетчатки	крахмала		
Тонкодисперсный порошок из пшеницы	14,92	1,90	11,84	56,36	9*101	5*101
Тонкодисперсный порошок из овса	13,03	4,29	12,59	66,58	7*101	1*101
Тонкодисперсный порошок из гречихи	15,22	2,01	13,13	63,69	8*101	3*101
Тонкодисперсный порошок из кукурузы	9,05	1,49	10,96	42,78	9*101	Не обнаружено
Тонкодисперсный порошок из чечевицы	22,82	1,92	10,95	52,67	7*101	2*101

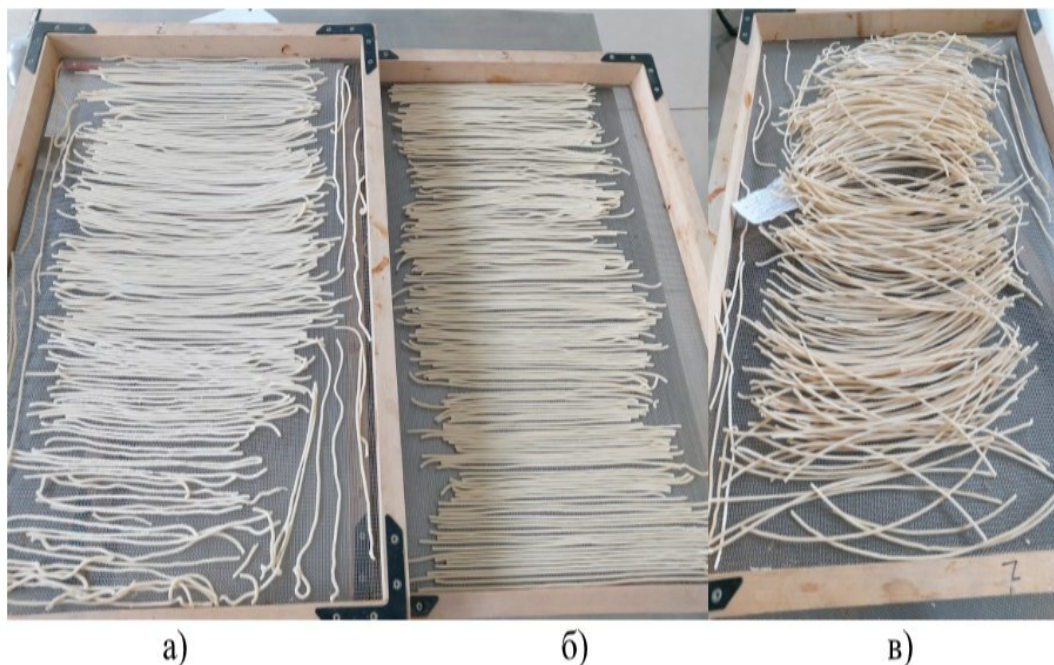
согласуются с литературными данными. Так, по данным Annalisa Romano et al [25], чечевица известна как мясо бедняка, поскольку она является дешевым источником белков (21–31%).

Из зерновых культур наибольшее количество белка обнаружено в тонкодисперсном порошке из гречихи -15,22%, наименьшее – из кукурузы

(9,05%).

Таким образом, для получения обогащенных макаронных изделий выбраны тонкодисперсные порошки из гречихи и чечевицы.

В «Учебно-научном макаронном центре» АО АТУ были проведены исследования по производству обогащенных макаронных изделий (рис.1).



а) макаронное изделие с тонкодисперсным порошком из гречихи; б) макаронное изделие с тонкодисперсным порошком из чечевицы; в) макаронное изделие с нанокарбоксилатами.

Рис. 1 – Фото обогащенных макаронных изделий в виде лапши

Были получены 3 вида обогащенных макаронных изделий в виде лапши в соответствии с разработанной рецептурой:

- макаронное изделие с тонкодисперсным порошком из гречихи;
- макаронное изделие с тонкодисперсным по-

рошком из чечевицы;

- макаронное изделие с нанокарбоксилатами.

Результаты химического анализа обогащенных макаронных изделий с нанокарбоксилатами и тонкодисперсными порошками из гречневой и чечевичной муки представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Химический анализ обогащенных макаронных изделий с нанокарбоксилатами и тонкодисперсными порошками из гречневой и чечевичной муки

Наименование макаронных изделий	Химические показатели					
	массовая доля, %			Микроэлементы		
	белка	клетчатки	углевода	Mg	Zn	Se
С тонкодисперсным порошком из гречихи	11,38	5,54	50,34	-	-	-
С тонкодисперсным порошком из чечевицы	12,16	3,49	54,18	-	-	-
С нано-карбоксилатами	9,33	2,17	53,75	36,84	0,78	Не обн.
Контрольный образец	9,31	2,16	52,4	-	-	-

Результаты исследований показали, что обогащение макаронных изделий тонкодисперсными порошками привели к значительному повышению пищевой ценности. Так, добавление 10% тонкодисперсного порошка из чечевицы к мучной смеси для производства макарон привело к увеличению белка в готовых изделиях, в сравнении с контрольным образцом, на 2,85%, клетчатки – 1,33%. Добавление 10% гречневого тонкодисперсного порошка увеличило массовую долю белка на 2,07%, клетчатки – 3,35%.

Добавление нанокарбоксилатов магния, цинка и селена показало наличие в готовых макаронных изделиях только магния и цинка. Отсутствие селена, по данным исследований, объясняется тем, что и в прежних исследованиях наблюдались потери селена в процессе помола муки и в технологиях пищевой промышленности, что и привело к тому, что селен не был обнаружен в мучной смеси [26].

Характеристика полученных макаронных изделий:

- макаронное изделие с тонкодисперсным порошком из гречихи имеет светло коричневый цвет, запах свойственный данному изделию, без постороннего запаха, поверхность гладкая;

- макаронное изделие с тонкодисперсным по-

рошком из чечевицы имеет темно коричневый цвет, запах свойственный данному изделию, без постороннего запаха, поверхность гладкая;

- макаронное изделие с нанокарбоксилатами имеет светло коричневый цвет, запах свойственный данному изделию, без постороннего запаха, поверхность гладкая.

Таким образом, все три варианта обогащения макаронных изделий можно рекомендовать для производства.

Выводы. Целями исследований было получение обогащённых нанокарбоксилатами и тонкодисперсным порошком из зерновых культур высокой питательной ценности, употребление которых позволило бы максимально обеспечить суточные потребности в микронутриентах для сохранения здоровья населения. Полученные в ходе исследований макаронные изделия соответствовали требуемым потребительским достоинствам и могут быть рекомендованы для производства.

Финансирование: Представленные результаты получены в рамках грантового финансирования № DP21681826 «Разработка технологии производства макаронных изделий, обогащенных микроэлементами»

Литература

1. Любимая лапша: потребление макаронных изделий в Казахстане — одно из самых высоких в мире, РК уступает в этом разве что Италии. -URL: <https://finprom.kz/ru/article/lyubimaya-lapsha-potreblenie-makaronnyh-izdelij-v-kazahstane-odno-iz-samyh-vysokih-v-mire-rk-ustupaet-v-etom-razve-что-italii> [Дата обращения 27.05.2024]
2. Sissons M. Pasta. In: Wrigley C., Corke H., Seetharaman K., Faubion J., editors. Encyclopedia of Food Grains. 2nd ed. – Oxford: Academic Press, 2016. - P. 79–89. [Google Scholar]

-
3. Bustos M.C., Perez G.T., Leon A.E. Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients // *RSC Adv.* – 2015. –Vol. 5. –P.30780–30792. DOI: 10.1039/C4RA11857J.
 4. Mercier S., Moresoli C., Mondor M., Villeneuve S., Marcos B. A Meta-analysis of enriched pasta: What are the effects of enrichment and process specifications on the quality attributes of pasta? *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2016;15:685–704. DOI: 10.1111/1541-4337.12207.
 5. ГОСТ 31743—2017 «Изделия макаронные. Общие технические условия». –Москва, Москва Стандартиформ, 2017. -9 с.б. ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством». - ИПК издательство стандартов Москва, 1997.
 7. Wahanik A.L., Chang Y.K., Clerici P.S., Teresa M. How to make pastas healthier? // *Food Rev. Int.* – 2018. –Vol. (34). –P. 23–30. DOI: 10.1080/87559129.2016.1210634,
 8. Li M., Zhu K.-X., Guo X.-N., Brijs K., Zhou H.-M. Natural additives in wheat-based pasta and noodle products: Opportunities for enhanced nutritional and functional properties // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* – 2014. –Vol.13(4). –P. 347–357. DOI: 10.1111/1541-4337.12066
 9. Mike Sissons Development of novel pasta products with evidence based impacts on health—a review. -2022. –Vol. 11(1). DOI: 10.3390/foods11010123
 10. Dariusz Dziki. Current Trends in Enrichment of Wheat Pasta: Quality, Nutritional Value and Antioxidant Properties. – 2021. -Vol.9(8). DOI:10.3390/pr9081280
 11. Арсеньева, Л.Ю., Борисенко, О.В., Доценко, В.Ф. Теоретические и практические аспекты использования тонкодиспергованных концентратов пищевых волокон в технологи ржано-пшеничного хлеба // *Научные работы НУПТ.* -2008. -№25. – С. 115-119.
 12. Anthony J. Hennessy J., Andrew R. Davies Disorders of Trace Elements and Vitamins// *Critical Care Nephrology (Second Edition).* - 2009. –P. 540-545. DOI:10.1016/B978-1-4160-4252-5.50106-4
 13. Скальный А. Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие. Изд. 4-е, дополненное, переработанное. –М.: Изд-во «Перо», 2019. -295 с. ISBN 978-5-00150-066-7
 14. Micronutrient Deficiency. Hannah Ritchie, Max Roser. –URL: <https://ourworldindata.org/micronutrient-deficiency>. [date of the application 26.01.2023]
 15. Hanife Akça and Süleyman Taban Biofortification: zinc enrichment strategies in crops // *Modern Concepts & Developments in Agronomy.* Submission: -2021. –P. 778-782. DOI: 10.31031/MCDA.2021.08.000679
 16. S Y Yu 1, Y J Zhu, W G Li Protective role of selenium against hepatitis B virus and primary liver cancer in Qidong // *Biological Trace Element Research.* 1997. –Vol. 56(1). –P. 117-124. DOI: 10.1007/BF02778987.
 17. Kieliszek M, Błażej S. Current Knowledge on the Importance of Selenium in Food for Living Organisms: A Review // *Molecules.* -20167 –Vol. 21(5). DOI: 10.3390/molecules21050609
 18. Aparna P. Shreenath; Muhammad Atif Ameer; Jennifer Dooley Selenium Deficiency: StatPearls – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482260/> [date of the application 03.06.2024]
 19. Viering D. H. H. M., de Baaij J. H. F., Walsh S. B., Kleta R., Bockenhauer D. Genetic causes of hypomagnesemia, a clinical overview // *Pediatric Nephrology.* -2017. –Vol. 32(7). –P. 1123–1135. DOI: 10.1007/s00467-016-3416-3
 20. Abdullah M. Al Alawi, Sandawana William Majoni and Henrik Falhammar Magnesium and Human Health: Perspectives and Research Directions // *International Journal of Endocrinology.* – 2018. DOI: 10.1155/2018/9041694
 21. Costello RB, Elin RJ, Rosanoff A, et al.. Perspective: the case for an evidence-based reference interval
-

- for serum magnesium: The time has come // *Advances in Nutrition: An International Review*. -2016. – Vol.7(6). –P. 977–993. DOI: 10.3945/an.116.012765
22. Philip G Crandall, Han-Seok Seo, Corliss A O'Bryan, Jf C Meullenet. Physicochemical analysis of wheat flour fortified with vitamin A and three types of iron source and sensory analysis of bread using these flours// *Journal of the Science of Food and Agriculture*. -2013. –Vol. 93(9). –P. 2299-2307. DOI:10.1002/jsfa.6043
23. .Shaimerdenova D.A., Chakanova Z.M., Sultanova M.Z., Shaimerdenova P.R., Abdrakhmanov K.A. Instant cereals enriched with carboxylatesInternational // *Journal of Engineering and Technology(UAE)*. – 2018. –Vol. 7(2). –P. 140–144
24. Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 9 декабря 2016 года № 503 «Об утверждении научно обоснованных физиологических норм потребления продуктов питания» // Министерство юстиции Республики Казахстан. -2016.
25. Annalisa Romano, Veronica Gallo, Pasquale Ferranti. Paolo Masi Lentil flour: nutritional and technological properties, in vitro digestibility and perspectives for use in the food industry // *Current Opinion in Food Science*. -2021. –Vol. 40. –P. 157-167. DOI: 10.1016/j.cofs.2021.04.003
26. Min Wang, Baoqiang Li, Shuang Li, Ziwei Song, Fanmei Kong, Xiaocun Zhang Selenium in wheat from farming to food // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2021. –Vol. 69. –P. 15458–15467. DOI: 10.1101/2021.07.17.452805.

References

1. Lyubimaya lapsha: potreblenie makaronnykh izdelii v Kazakhstane — odno iz samykh vysokikh v mire, RK ustupaet v etom razve chto Italii. -URL: <https://finprom.kz/ru/article/lyubimaya-lapsha-potreblenie-makaronnyh-izdelij-v-kazakhstane-odno-iz-samyh-vysokih-v-mire-rk-ustupaet-v-etom-razve-chto-italii> (Data obrashcheniya 27.05.2024) [in Russian]
2. Sissons M. Pasta. In: Wrigley C., Corke H., Seetharaman K., Faubion J., editors. *Encyclopedia of Food Grains*. 2nd ed. – Oxford: Academic Press, 2016. - P. 79–89. [Google Scholar]
3. Bustos M.C., Perez G.T., Leon A.E. Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients // *RSC Adv*. – 2015. –Vol. 5. -P.30780–30792. DOI: 10.1039/C4RA11857J.
4. Mercier S., Moresoli C., Mondor M., Villeneuve S., Marcos B. A Meta-analysis of enriched pasta: What are the effects of enrichment and process specifications on the quality attributes of pasta? *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2016;15:685–704. DOI: 10.1111/1541-4337.12207.
5. GOST 31743—2017 «Izdeliya makaronnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya». –Moskva, Moskva Standartinform, 2017. -9 s. 6. GOST 2874-82 «Voda pit'evaya. Gigienicheskie trebovaniya i kontrol' za kachestvom». - IPK izdatel'stvo standartov Moskva, 1997. [in Russian]
7. Wahanik A.L., Chang Y.K., Clerici P.S., Teresa M. How to make pastas healthier? // *Food Rev. Int.* – 2018. –Vol. (34). –P. 23–30. DOI: 10.1080/87559129.2016.1210634,
8. Li M., Zhu K.-X., Guo X.-N., Brijs K., Zhou H.-M. Natural additives in wheat-based pasta and noodle products: Opportunities for enhanced nutritional and functional properties // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* – 2014. –Vol.13(4). –P. 347–357. DOI: 10.1111/1541-4337.12066
9. Mike Sissons Development of novel pasta products with evidence based impacts on health—a review. -2022. –Vol. 11(1). DOI: 10.3390/foods11010123
10. Dariusz Dziki. Current Trends in Enrichment of Wheat Pasta: Quality, Nutritional Value and Antioxidant Properties. – 2021. -Vol.9(8). DOI:10.3390/pr9081280

-
11. Arsen'eva, L. Yu., Borisenko, O.V., Dotsenko, V.F. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty ispol'zovaniya tonkodispersgovanykh kontsentratorov pishchevykh volokon v tekhnologii rzhano-pshenichnogo khleba // Nauchnye raboty NUPT. -2008. -№25. – C. 115-119. [in Russian]
 12. Anthony J. Hennessy J., Andrew R. Davies Disorders of Trace Elements and Vitamins// Critical Care Nephrology (Second Edition). - 2009. –P. 540-545. DOI:10.1016/B978-1-4160-4252-5.50106-4
 13. Skal'nyi A. Mikroelementy: bodrost', zdorov'e, dolgoletie. Izd. 4-e, dopolnennoe, pererabotannoe. –M.: Izd-vo «Pero», 2019. -295 s. ISBN 978-5-00150-066-7 [in Russian]
 14. Micronutrient Deficiency. Hannah Ritchie, Max Roser. –URL: <https://ourworldindata.org/micronutrient-deficiency>. [date of the application 26.01.2023]
 15. Hanife Akça and Süleyman Taban Biofortification: zinc enrichment strategies in crops // Modern Concepts & Developments in Agronomy. Submission: -2021. –P. 778-782. DOI: 10.31031/MCDA.2021.08.000679
 16. S Y Yu 1, Y J Zhu, W G Li Protective role of selenium against hepatitis B virus and primary liver cancer in Qidong //Biological Trace Element Research. 1997. –Vol. 56(1). –P. 117-124. DOI: 10.1007/BF02778987.
 17. Kieliszek M, Błażej S. Current Knowledge on the Importance of Selenium in Food for Living Organisms: A Review // Molecules. -20167 –Vol. 21(5). DOI: 10.3390/molecules21050609
 18. Aparna P. Shreenath; Muhammad Atif Ameer; Jennifer Dooley Selenium Deficiency: StatPearls – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482260/> [date of the application 03.06.2024]
 19. Viering D. H. H. M., de Baaij J. H. F., Walsh S. B., Kleta R., Bockenhauer D. Genetic causes of hypomagnesemia, a clinical overview // Pediatric Nephrology. -2017. –Vol. 32(7). –P. 1123–1135. DOI: 10.1007/s00467-016-3416-3
 20. Abdullah M. Al Alawi, Sandawana William Majoni and Henrik Falhammar Magnesium and Human Health: Perspectives and Research Directions // International Journal of Endocrinology. – 2018. DOI: 10.1155/2018/9041694
 21. Costello RB, Elin RJ, Rosanoff A, et al.. Perspective: the case for an evidence-based reference interval for serum magnesium: The time has come // Advances in Nutrition: An International Review. -2016. – Vol.7(6). –P. 977–993. DOI: 10.3945/an.116.012765
 22. Philip G Crandall, Han-Seok Seo, Corliss A O'Bryan, Jf C Meullenet. Physicochemical analysis of wheat flour fortified with vitamin A and three types of iron source and sensory analysis of bread using these flours// Journal of the Science of Food and Agriculture. -2013. –Vol. 93(9). –P. 2299-2307. DOI:10.1002/jsfa.6043
 23. .Shaimerdenova D.A., Chakanova Z.M., Sultanova M.Z., Shaimerdenova P.R., Abdrakhmanov K.A. Instant cereals enriched with carboxylatesInternational // Journal of Engineering and Technology(UAE). – 2018. –Vol. 7(2). –P. 140–144
 24. Prikaz Ministra natsional'noi ekonomiki Respubliki Kazakhstan ot 9 dekabrya 2016 goda № 503 «Ob utverzhdenii nauchno obosnovannykh fiziologicheskikh norm potrebleniya produktov pitaniya» // Ministerstvo yustitsii Respubliki Kazakhstan. -2016. [in Russian]
 25. Annalisa Romano, Veronica Gallo, Pasquale Ferranti. Paolo Masi Lentil flour: nutritional and technological properties, in vitro digestibility and perspectives for use in the food industry // Current Opinion in Food Science. -2021. –Vol. 40. –P. 157-167. DOI: 10.1016/j.cofs.2021.04.003
 26. Min Wang, Baoqiang Li, Shuang Li, Ziwei Song, Fanmei Kong, Xiaocun Zhang Selenium in wheat from farming to food // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2021. –Vol. 69. –P. 15458–15467. DOI: 10.1101/2021.07.17.452805.
-

Сведения об авторах

Шаймерденова Д.А. - доктор технических наук, ТОО "Научно-производственное предприятие "Инноватор", Астана, Казахстан, e-mail: darigash@mail.ru;

Омаралиева А.М. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Технология и стандартизация», АО «Казахский университет технологии и бизнеса» им. К. Кулажанова» Астана, Казахстан, e-mail: aigul-omar@mail.ru;

Тарабаев Б.К. - кандидат технических наук, «Казахский агротехнический исследовательский университет. Сейфуллин», Астана, Казахстан, e-mail: tarabaev50@mail.ru;

Сарбасова Л.Т. - кандидат технических наук, ТОО "Научно-производственное предприятие "Инноватор", Астана, Казахстан, e-mail: sargt@mail.ru;

Ануарбекова С.С. – кандидат медицинских наук, ТОО "Научно-производственное предприятие "Инноватор", Астана, Казахстан, e-mail: sanuarbekova@rambler.ru;

Искакова Д.Б. - ТОО "Научно-производственное предприятие "Инноватор ", Астана, Казахстан, e-mail: damirais 61@mail.ru;

Шаймерденов А.А. - ТОО "Научно-производственное предприятие "Инноватор ", Астана, Казахстан, e-mail: darigash@mail.ru;

Тастанов Д.А. - ТОО "Научно-производственное предприятие "Инноватор ", Астана, Казахстан, e-mail: dias.tastanov@mail.ru

Information about authors

Shaimerdenova D. A. - Doctor of Technical Sciences, «Scientific and production enterprise «Innovator» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: darigash@mail.ru;

Omaralieva A. M. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Standardization of "K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business JSC" Astana, e-mail: aigul-omar@mail.ru;

Tarabayev B.K. - Candidate of Technical Sciences, Kazakh Agrotechnical Research University Seifullin, Astana, Kazakhstan, e-mail: tarabaev50@mail.ru;

Sarbasova L. T. - Candidate of Technical Sciences, «Scientific and production enterprise «Innovator» LLP, ,Astana, Kazakhstan, e-mail: sargt@mail.ru;

Anuarbekova S.S. - Candidate of Medical Sciences, «Scientific and production enterprise «Innovator» LLP, , Astana, Kazakhstan, e-mail: sanuarbekova@rambler.ru;

Iskakova D.B. -«Scientific and production enterprise «Innovator» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: damirais 61@mail.ru;

Shaimerdenov A.A. - Scientific and Production Enterprise «Innovator» LLP, Kazakhstan, Astana, LLP «Scientific and production enterprise «Innovator», Astana, Kazakhstan, e-mail: darigash@mail.ru;

Tastanov D.A. - «Scientific and production enterprise «Innovator» LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: dias.tastanov@mail.ru

STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOFT DRINKS OBTAINED WITH ADDITION OF GOOSEBERRY EXTRACT

¹B.Khamitova✉, ²F.Dikhanbayeva, ¹G.Koshtayeva

¹M.Auezov South-Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan,

²Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

✉Correspondent-author: barno-007@mail.ru

The manufacturing of juice-containing soft drinks is experiencing significant expansion in both international and domestic markets, including Kazakhstan. This tendency can be attributed to the aspiration of the working-age population in developed countries to adopt a health-conscious lifestyle. The manufacturing of beverages using natural fruit and berry ingredients is highly intriguing in this context. Enriching soft drinks with a diverse array of physiologically active chemicals derived from plant materials is highly significant. This study aims to investigate the physicochemical characteristics of soft drinks and assess the potential application of gooseberry extract.

In order to create a non-alcoholic beverage, the valuable wild gooseberries were utilised. These gooseberries are rich in biologically active elements, including vitamins, vitamin-like compounds, flavonoids, minerals, and other chemicals.

The acquired results are derived from a substantial volume of empirical study and are founded upon an examination of literary data pertaining to the chemical makeup of gooseberries. The study investigated the chemical makeup of gooseberries using contemporary techniques of chemical analysis. A recipe for a non-alcoholic beverage made using gooseberry extract, free from any artificial ingredients, has been devised. The organoleptic and physico-chemical features of it have been determined.

Keywords: soft drinks, gooseberry, plant extracts, fruit and berry raw materials, functional purpose, ultrasonic extraction method

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ НАПИТКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ДОБАВЛЕНИЕМ ЭКСТРАКТА КРЫЖОВНИКА

¹ Б.М. Хамитова✉, ² Ф.Т. Диханбаева, ¹Г.Е. Коштаева

¹Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Казахстан, Шымкент, Казахстан,

²Алматинский технологический университет, Казахстан, Алматы, Казахстан,

e-mail: barno-007@mail.ru

В последнее время наблюдается значительный рост производства безалкогольных напитков, содержащих сок, как на внутреннем, так и на международном рынках, включая Казахстан. Эту тенденцию можно связать с желанием трудоспособного населения в промышленно развитых странах вести здоровый образ жизни. В этом контексте производство напитков на основе натуральных фруктово-ягодных компонентов вызывает большой интерес. Актуальным является и добавление в безалкогольные напитки широкого спектра биологически активных веществ, полученных из растительного сырья. Цель данного исследования - изучение физико-химических свойств безалкогольных напитков и оценка возможности применения экстракта крыжовника.

Использование дикого крыжовника позволило получить безалкогольный напиток, содержащий значительное количество биологически активных компонентов, таких как витамины, витаминоподобные соединения, флавоноиды, минералы и другие вещества.

Полученные результаты основаны на анализе литературы, посвященной химическому составу крыжовника, а также на значительном объеме проведенных экспериментальных исследований. В ходе исследования использовались современные методы химического анализа для изучения химического состава крыжовника. С использованием экстракта крыжовника была разработана рецептура напитка, не содержащего искусственных компонентов и спирта. Также помимо физико-химических свойств, были выявлены и органолептические характеристики напитка.

Ключевые слова: безалкогольные напитки, крыжовник, растительные экстракты, фруктово-ягодное сырье, функционального назначения, ультразвуковой способ экстрагирования

ҚАРЛЫҒАН СЫҒЫНДЫСЫ ҚОСЫЛҒАН АЛКОГОЛЬСІЗ СУСЫНДАРДЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

¹Б.М. Хамитова✉, ² Ф.Т. Диханбаева, ¹Г.Е. Коштаева

¹М. Әузов атындағы Оңтүстік-Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан,

²Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,

e-mail: barno-007@mail.ru

Құрамында шырыны бар алкогольсіз сусындар өндірісінің ассортименті шетелде де, Қазақстанда да қарқынды өсуде. Бұл үрдіс дамыған елдердегі тұрғындардың белсенді бөлігінің салауатты өмір салтына ұмтылысына байланысты. Осыған орай, табиғи жеміс-жидек шикізаты негізіндегі сусындар өндірісі үлкен қызығушылық тудыруда. Алкогольсіз сусындарды өсімдік тектес биологиялық белсенді заттардың кең спектрімен байыту өте маңызды. Бұл жұмыстың мақсаты алкогольсіз сусындардың физика-химиялық қасиеттерін зерттеу, сонымен қатар қарлыған сығындысын пайдалану мүмкіндігін зерттеу.

Алкогольсіз сусын алу үшін дәрумендер мен витаминге ұқсас қосылыстар, флавоноидтар, минералдар және басқа заттар сияқты биологиялық белсенді заттардың құнды көзі болып табылатын жабайы қарлыған пайдаланылды.

Алынған нәтижелер тәжірибелік зерттеулердің айтарлықтай көлеміне және қарлығанның химиялық құрамы туралы әдеби деректерді талдауға негізделген. Жұмыста қазіргі заманғы химиялық талдау әдістерін қолдану арқылы қарлығанның химиялық құрамы зерттелді. Құрамында синтетикалық компоненттері жоқ қарлыған сығындысы бар алкогольсіз сусынның рецепті әзірленді. Оның органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштері анықталды.

Түйін сөздер: алкогольсіз сусындар, қарлыған, өсімдік сығындылары, жеміс-жидек шикізаты, функционалдық мақсаты, ультрадыбыстық экстрагирлеу тәсілі

Introduction. The soft drink business is experiencing significant growth and is one of the fastest-growing sub-industries in the global food sector. Both the production and consumption of soft drinks are exhibiting a consistent upward trend, both currently and in the foreseeable future. Furthermore, alongside the proactive adoption of novel packaging formats, a media-based advertising campaign is being executed, effectively capturing the interest of a growing customer base [1]. The priority direction of that area is considered to be the diversification of soft drinks, including low-

calorie specialized drinks with various functional orientations. Development of non-alcoholic industry was to be carried out in two main directions: increasing the production of drinks on fruit and berry and malt raw materials; increasing the production of tonic and fortified drinks, as well as "protection" drinks having a special purpose [2].

At present, the challenges of the logical and efficient use of commonly available plant materials as a valuable source of functional components and the creation of healthy soft beverages are highly essential.

It is widely known that food has a significant impact on human health. Antioxidants can help reduce environmental oxidative stress caused by free radicals, which can damage the body's cellular system. Free radicals can be generated intracellularly due to the impact of detrimental factors such as radiation, UV radiation, and chemical processes involving polycyclic aromatic hydrocarbons. Free radicals are accountable for the partial or complete degradation of lipids and proteins in the human body. The degradation mentioned causes cellular and genetic mutations, as well as interactions with polyunsaturated fatty acids, DNA, and proteins. These interactions ultimately contribute to the development of various illnesses.

Conversely, antioxidants hinder the oxidation of lipids by interacting with free radicals. Plant-based commodities, such as fruits and berries, serve as the main sources of antioxidants. The reason for this is that only plant-based products have the ability to generate bioflavonoids and other polyphenolic compounds. The exploitation of indigenous plant resources, which provide the greatest health benefits to those living in the same region, is a particularly promising strategy [3,4].

In recent years, scientists have focused their research on developing innovative formulations and technologies for soft drinks that not only quench thirst and provide refreshment, but also have physiological or preventative effects. Considerable emphasis is placed on enhancing the longevity of beverages throughout the storing process. There are novel varieties of soft drinks that distinguish themselves from conventional ones in terms of both

ingredients and production methods, as well as in terms of taste and their effects on the human body [5].

An efficient approach to addressing nutritional deficiencies caused by vitamin deficiencies is the advancement of novel formulations and technology for juice-based products with functional properties. Therefore, it is necessary to develop novel plant-based products utilising indigenous raw ingredients.

The utilisation of plant-derived raw materials for the development of novel food items offers several benefits owing to the elevated bioactivity and bioavailability of the active food constituents present in them. Fruits and berries have a limited duration before they spoil, which necessitates the development of processing techniques to ensure a continuous supply of these items to the population throughout the year. The plants contain biologically active compounds that determine the specific attributes of the resulting product and provide essential technological characteristics. This eliminates the need for the addition of flavours, colours, and preservatives. One method for maintaining the advantageous qualities of fruits and berries, such as their antioxidant capabilities, all year round is by creating fruit and berry extracts and incorporating them into food [6].

The efficiency of the process of extracting biologically active chemicals from plants is influenced by key technological elements such as temperature, extraction time, degree of raw material grinding, type of extractant, hydromodule, and others. Every variety of plant raw material possesses certain parameters, modes, and conditions that have been determined through experimental research [7]. To introduce natural flavors, including essential oils, into drink recipes, surfactants (surfactants) are needed to distribute them evenly throughout the volume of the drink. Highly effective surfactants include triterpene plant saponins, which have a wide range of pharmacological effects (hypercholesterolemic, anticarcinogenic, hepatoprotective effects; antioxidant, immunological effects, and so on) [8,9].

Here are a few instances of biologically active supplements that have been proposed: the ginseng

biomass infusion, known as "BAD-GS," consists of potassium, sodium ions, and 12 trace elements. The preparation called "MIGI-K-LP" is derived from mussel meat and possesses radioprotective and anti-inflammatory effects. The preparation called "Zosterin" is obtained from seaweed and contains a substantial quantity of polygalacturonic acid. In addition, the therapy process include infusions of medicinal plants such as Chinese lemongrass, levzei safflower, and eleuterococcus. This foundation has been employed in the development of several beverages that possess both preventive and therapeutic properties: [1,10].

Drinks on flavors occupy a significant segment of the market, as they are the most popular due to the presence of a large variety of flavoring components, high organoleptic indicators and relatively low cost. For flavouring beverages, artificial and identical natural flavors are mainly used, and water of various degrees of carbonation is used as a base [11,12].

It is crucial to incorporate plant extracts in the formulation of flavoured beverages to enhance the presence of their functional elements and biologically active substances (BAS) with antioxidant properties. This is due to the fact that contemporary clients possess tastes that diverge from those held by prior generations. Plant raw materials contain a substantial amount of phenolic compounds, alkaloids, glycosides, polysaccharides, organic acids, essential oils, vitamins, minerals, and other components. These molecules exert a favourable influence on the physiological functioning of several systems inside the human body, encompassing the digestive, urinary, cardiovascular, immunological, and other systems [13].

Specialised beverages tailored for athletes are currently being formulated, which include energy drinks infused with juices, extracts, caffeine, ginseng preparations, and other natural adaptogens. A diverse assortment of powdered drink combinations incorporating medicinal and preventative characteristics derived from vegetable

raw materials has been created [14,15].

For completion of losses of liquid during trainings and competitions use specialized sports drinks generally on the basis of a carbohydrate chloridno - sodium composition. But at the same time it is necessary that sports drinks not only recovered losses of liquid, but also had functional focus that is reached by enrichment of a compounding with biologically active agents. A specific place is held by the substances possessing adaptogenny action, in particular, extracts of plants, for example, of an echinacea, a ginseng, ginger and a St. John's wort [16,17].

Enriching soft drinks with polycomponent systems of plant extractives in the form of concentrates and bases is a new approach to promoting health, improving productivity, and supporting the body's natural healing processes.

Materials and methods. *Methods (methodology) of the experiment*

Apple juice and gooseberry extracts were the primary components utilised in the manufacturing of soft drinks.

Due to the distinctive composition of gooseberry (Red Large variety), which contains significant amounts of vitamins A and C, as well as vitamins E, PP, B groups, and various minerals like potassium, calcium, iron, zinc, and others, gooseberry was selected as the main ingredient.

The chemical makeup of gooseberries is influenced by various elements such as the variety, age, soil conditions, and other environmental factors. Consequently, the data regarding the chemical composition of gooseberries from different sources are more prone to variation compared to the data for other garden crops [1].

The health advantages of berries are attributed to a combination of beneficial compounds and vital vitamins. The product's pulp is distinguished by the presence of pectins, minerals, and metals. Table 1 shows the amount of beneficial components and vitamins found in 100 grammes of gooseberries.

Table 1 - Useful components and vitamins in composition of gooseberries

Vitamins	Quantity, mg	% from 100 g norm	Minerals	Quantity, mg	% from 100 g norm
A	0.033	3.6	potassium	260	10.4
B1	0.01	0.7	calcium	22	2.2
B2	0.02	1.1	magnesium	9.0	2.3
B4	42.1	5.11	sodium	23	1.8
B5	0.286	5.0	sulfur	18	1.8
B6	0.03	1.5	phosphorus	28	4.0
B9	5.0 mkg	1.3	chlorine	1.0	3.5
C	30.0	33.3	iron	0.8	4.4
E	0.5	3.3	iodine	1.0	0.7
K	7.8 mkg	0.7	manganese	0.45	22.5
PP	0.4	2.0	copper	130	13
Niacin B3	0.3	3.1	molybdenum	12	17.1
Antioxidants	0.389±0.005	0.413±0.006	fluorine	12	0.3
			chromous	1.0	2.0
			zink	0.09	0.8

Note: compiled based on source [1]

Gooseberries are popular in diets due to their low calorie level, high liquid content, presence of fibre, and pectin content.

Based on our analysis of the literature and existing recipes for producing beverages, we have determined that incorporating gooseberries into the formulation will enhance its composition, while also imparting a more delicate hue and flavour to the drink.

Experimental part

Extracts are highly concentrated juices that are free of pectin and can be produced using sulfitated materials. Consequently, the extraction of aromatic compounds does not occur throughout the manufacturing process. The extracts are utilised in the production of carbonated beverages.

Ultrasound is a highly promising technique for enhancing the extraction of plant resources. Utilising the ultrasonic extraction method can effectively decrease the time required for the procedure and result in a more thorough extraction of compounds [18 in Russian].

The extraction of nutrients from a mixture depends not only on the composition of the raw materials, but also on the specific type of extractant used. In order to ascertain the most effective extractant and the optimal percentage of

raw materials, we generated numerous samples of gooseberry extracts using the technique outlined below. To attain a particle size of 1-2 millimetres, we measured and pulverised the unprocessed components. Subsequently, we mixed the raw materials with distilled water and an aqueous solution of ethyl alcohol, which had concentrations of 10%, 15%, and 20%. This was done using the standard method and the ethyl alcohol solution had a volume of 40% at room temperature. The mixture was left for a duration of one hundred twenty minutes [1].

The low-frequency ultrasonic device was utilised to perform ultrasonic processing brand PLS-FSJ-300 made in China. The container containing a sample of raw materials is positioned into an isothermal bath that has been pre-heated to a temperature range of 38-40 degrees Celsius. The reverse refrigerator initiates operation upon turning on the water pipe valve. An electrically powered Hoover pump is activated. Once the residual pressure in the system has been measured and the length of ultrasound treatment for the raw materials has been set to 15 minutes, the low-frequency ultrasonic device is activated. After completing the ultrasound processing of the raw materials, the vacuum pump is turned off and the vacuum flow valve is opened to remove the container containing the extract.

Subsequently, the extract is strained using a sieve, and the residual substance is then subjected to compression. The obtained extract is forwarded for more investigation.

Results and discussion. The study employed physicochemical research methodologies, adhering to the technical regulations and standards specified

for this particular product [19]. The sensory parameters of the juice-containing beverage were determined using established procedures [20].

Gooseberry extract was utilized at every stage of the soft drink manufacturing process. The recipes for soft drinks containing gooseberry extract are provided in table 2 [1].

Table 2 - Formulations of soft carbonated drinks with goosberry juice per 100 dal of finished product

Raw material	formulation 1		formulation 2		formulation 3	
	Content of raw material in juice					
	measuring unit	quantity	measuring unit	quantity	measuring unit	quantity
sugar	kg	75.16	kg	65.90	kg	29.26
apple juice	l	95.5	l	95.5	l	95.5
raspberry juice	l	23.46	l	26.3	l	24.7
gooseberry extract	l	0.35	l	1.43	l	1.408
citric acid	kg	2.46	kg	2.32	kg	2.12
essential oil	l	0.002	l	-	l	0.004
color	kg	0.35	kg	-	kg	-

Note: compiled based on source [1]

Organoleptic indicators are assessed through visual observation and taste evaluation to evaluate quality factors such as appearance, colour, taste, scent, and transparency of the drink.

The table 3 displays the sensory properties of the

soft drink containing gooseberry extract.

The table 4 displays the physical and chemical characteristics of the soft drink containing gooseberry extract.

Table 3 - Organoleptic characteristics of soft drink with gooseberry extract

Indicator	Formulation 1	Formulation 2	Formulation 3
Appearance	Nontransparent liquid, without seeds and impurities	Nontransparent liquid, without seeds and impurities	Nontransparent liquid, without seeds and impurities
Color	ruby	ruby	Saturated ruby
Taste, aroma	Taste is peculiar to gooseberry, pleasant aroma	Taste is peculiar to gooseberry, pleasant aroma	Taste is peculiar to gooseberry, pleasant aroma

Note: compiled based on source [1]

Table 4 - Physical and chemical parameters of soft drink with gooseberry extract

Indicator	formulation 1	formulation 2	formulation 3
Mass share of dry substances, %	7.3	8.1	8.7

Table 4 - Physical and chemical parameters of soft drink with gooseberry extract

Indicator	formulation 1	formulation 2	formulation 3
Acidity, ml of 1 M solution NaOH for 100 ml of drink	2.5	2.9	3.7
Mass share of vitamin C, %	3.2	3.3	4.3
Vitamin P, mg%	3.5	3.7	4.2
Pectin substances, %	2.7-3.0	1.6-2.2	2.1-2.7
pH	4.4	4.6	4.4±0.2

Note: compiled based on source [1]

Tables 3 and 4 demonstrate that the sensory, physical and chemical characteristics of the soft drink align with the established criteria for soft drinks. The preparation of the drink enables the following: diversifying the range of options, enhancing the presence of biologically active compounds, improving the sensory characteristics of the product, and imparting functional properties to the drink [1].

The study findings reveal that the produced soft drink includes significant amounts of biologically

active components, including 3.2-4.3 mg% of ascorbic acid and 3.5-4.2 mg% of vitamin P.

Conclusions. Based on the experimental results, it can be concluded that gooseberry extract can be used as a supplement for soft drinks. The utilisation of gooseberry extract in the manufacturing of soft drinks serves as proof of its ability to enhance the sensory characteristics of the beverage and enable the creation of a functional beverage that offers both therapeutic and preventative benefits.

References

1. B.M.Khamitova, B.T. Abdizhapparova, E.E. Tazhenov. Study of physical and chemical properties of soft drinks obtained with addition of gooseberry extract // *Industrial Technologies and Engineering* - 2019. Vol. I. - P. 306-310.
2. Pomozova V.A. *Proizvodstvo kvasa i bezalkogol'nyh napitkov: Uchebnoe posobie*. - SPb.: GIORD, 2006. - 192 s. ISBN 5-98879-029-1 [in Russian]
3. Donchenko G.V., Krichkovskaya L.V., Chernyshov S.I., Nikitchenko YU.V. i dr. *Prirodnye antioksidanty (biotekhnologicheskie, biologicheskie i medicinskie aspekty): monografiya*. Har'kov: «Model' Vselennoj». 2011. - 376 s. [in Russian]
4. Belokurova E.V., Solohin S.A., Rodionov A.A. *Razrabotka tehnologii bulochnyh izdelij s vneseniem probioticheskogo bakkoncentrata «Immunolakt»// Tekhnologii pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya – 2016. – № 3. – S. 51-55.* [in Russian]
5. SHumann, G. *Bezalkogol'nye napitki: syr'e, tekhnologii, normativy* / G. SHumann ; perevod s nemeckogo pod obshch. red. A. V. Oreshchenko i L. N. Benevolenskoj. - Sankt-Peterburg : Professiya, 2004 (GP Tekhn. kn.). - 278 s. ISBN 5-93913-063-1
6. Filonova, G.L. *Prjano-aromaticheskoe syr'e dlja sozdaniya pozitivnoj bezalkogol'noj produkcii*/G.L. Filonova, I.L. Kovaleva, N.A. Komrakova, E.V. Nikiforova/ / *Pivo i napitki*. – №5. - 2015. - S. 58-61 [in Russian]
7. Skripnikov YU. G. *Proizvodstvo plodovo-yagodnyh vin i sokov*. – M.: Kolos, 1983. – 256 s. [in Russian]

8. Gulcu-Ustundag, O. Saponins: properties, applications and processing. / O. Guclu-Ustundag, O. Mazza// Crit. Rev. Food Sci. Nutr. - 2007. - Vol. 47. - P. 231-258 DOI: 10.1080/10408390600698197
9. Man S. Chemical study and medical application of saponins as anti-cancer agents / S. Man, W. Gao, Y. Zhang // Fitoterapia. - 2010. - Vol. 81. - P. 703-714 DOI: 10.1016/j.fitote.2010.06.004
10. SHlykova, A. P. Primenenie ekstrakta citronelly v tekhnologii bezalkogol'nyh napitkov / A. P. SHlykova, E. O. Ivanova, A. A. Kolobaeva, O. A. Kotik // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – № 5. - 2014. - S. 192-196. [in Russian]
11. Sarafanova L. A. Primenenie pishchevyh dobavok v proizvodstve napitkov / L.A. Sarafanova. - SPb.: Professiya, 2007. - 239 s. ISBN 5-93913-125-5 [in Russian]
12. Gazirovannye bezalkogol'nye napitki : receptury i proizvodstvo / pod red. Djevida P. Stina i Filipa R. Jeshhersta ; per. s angl. T. O. Zverevich. - Sankt-Peterburg : Professija, 2008. - 415 s. ISBN 978-5-93913-160-5 (V per.) [in Russian]
13. Palagina, M. V. Resursy pishchevogo syr'ya Dal'nevostochnogo regiona: ucheb. posobie / M. V. Palagina, YA. V. Dubnyak, V. I. Golov. - Vladivostok: Izdat. dom Dal'nevost. feder. un-ta, 2012. - 153 s. ISBN 978-5-7444-2728-3 [in Russian]
14. Gavrilova N.B., Petrova E.I.. Tekhnologiya produktov dlya sportivnogo pitaniya // Molochnaya promyshlennost'. - 2013. - № 9. -S. 82-83 [in Russian]
15. Gavrilova N.B., SHCHetin M.P., Moliboga E.A. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya proizvodstva specializirovannyh produktov dlya pitaniya sportsmenov // Voprosy pitaniya. 2017. - № 2. - S. 100-106 [in Russian]
16. Atkins R. Biodobavki: prirodnaia al'ternativa lekarstvam / per. s angl. G.I. Levitana. Minsk : Popurri, 2012. -800 s. ISBN: 978-985-15-1243-6 [in Russian]
17. SHerman S.V., Kachak V.V., SHerman B.K. Nauchnye osnovy formirovaniya sostava i potrebitel'skikh karakteristik gejnervov kak produktov intensivnogo sportivnogo pitaniya // Pishchevaya promyshlennost'. 2012. - № 6. - S. 55-58. ISSN 0235-2486 [in Russian]
18. Rodionova N.S., Manukovskaya M.V., Nebol'sin A.E., Serchenya M.V. Primenenie metoda ul'trazvukovogo jekstragirovaniya v prigotovlenii napitka napravlennogo dejstviya iz jagod chjornoj smorodiny// vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij. -2016. -№(2). -S. 162-169№ DOI:10.20914/2310-1202-2016-2-162-169 [in Russian]
19. Aret V.A. Fiziko-himicheskie svoystva syr'ya i gotovoj produkcii: uchebnoe posobie / V. A. Aret, B. L. Nikolaev, L. K. Nikolaev. – SPb. 2009. - 442 s. ISBN 978-5-98879-066-2 [in Russian]
20. GOST 6687.5-86. Produkciya bezalkogol'noj promyshlennosti. Metody opredeleniya organolepticheskikh pokazatelej i ob"ema proizvodstva. –M, 1986. [in Russian].

Information about authors

Khamitova B.M. -Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M.Auezov South-Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: barno-007@mail.ru;

Dikhanbayeva F.- Doctor of Technology Professor Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: fatima6363@mail.ru;

Koshtayeva G.E.- teacher M.Auezov South-Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan, e-mail: gulk1979@mail.ru

Сведения об авторах

Хамитова Б.М. - кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Южно-Казахстанский

университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: barno-007@mail.ru;

Диханбаева Ф.Т. - доктор технических наук, профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: fatima6363@mail.ru;

Коштаева Г.Е. - преподаватель Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail: gulk1979@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ ДЛЯ НАКЛОННЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Д.К. Таханов, М.Ж. Балпанова✉, Д.Т. Ивадилинова

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

✉ Корреспондент-автор: balpanova86@mail.ru

В статье рассматривается разработка технологической схемы отработки наклонных залежей с углом падения от 20 до 35 градусов на примере Жиландинского месторождения с использованием камерно-столбовой системы. Ухудшение геомеханических условий, вызванное неправильными параметрами системы разработки, требует корректировки этих параметров. Для решения этой проблемы было проведено моделирование массива горных пород с использованием метода конечных элементов. В результате были определены главные сжимающие и растягивающие напряжения в зависимости от глубины отработки. Также был проведен расчет параметров междукамерных целиков с учетом различных горнотехнических факторов. Анализ результатов численного моделирования позволил определить допустимые параметры очистной камеры и междукамерного целика в зависимости от угла залегания. Было установлено, что междукамерный целик классической вертикальной формы допустим только при угле падения рудного тела до 25 градусов. Новая технология отработки наклонных залежей с углом падения 20-35 градусов с использованием камерно-столбовой системы была разработана на основе исследований Жиландинского месторождения.

Ключевые слова: наклонная залежь, междукамерный целик, устойчивость, очистная камера, запас прочности, численное моделирование, система разработки.

КӨЛБЕУ КЕН ОРЫНДАРЫ ҮШІН ТАЗАРТУ КЕНЖАРЫНЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІНЕ БАЙЛАНЫСТЫ ДЕФОРМАЦИЯЛАРДЫҢ ӨЗГЕРУ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫН ЗЕРТТЕУ

Д.К. Таханов, М.Ж. Балпанова✉, Д.Т. Ивадилинова

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан,

e-mail: balpanova86@mail.ru

Мақалада камералық-бағаналы қазу жүйесін қолдана отырып, Жыланды кен орнының мысалында құлау бұрышы 20-дан 35 градусқа дейінгі көлбеу кеншоғырларды өндірудің технологиялық схемасын әзірлеу қарастырылды. Қазу жүйесінің теріс қабылданған параметрлерінен туындаған геомеханикалық жағдайлардың нашарлауы осы параметрлерді түзетуді қажет етеді. Бұл мәселені шешу үшін соңғы элементтер әдісін қолдана отырып, тау жыныстарының массивін модельдеу жүргізілді. Нәтижесінде жұмыс тереңдігіне байланысты негізгі қысу және созылу кернеулері анықталды. Сондай-ақ, әртүрлі тау-кен факторларын ескере отырып, камерааралық кентіректердің параметрлерін есептеу жүргізілді. Сандық модельдеу нәтижелерін талдау тазарту камерасы мен камерааралық кентіректердің рұқсат етілген параметрлерін еңіс бұрышына байланысты анықтауға мүмкіндік берді. Классикалық тік форманың камерааралық кентірек кен денесінің 25 градусқа дейін еңіс бұрышында ғана рұқсат етілетіні анықталды. Камералық-бағаналы қазу жүйесін пайдалана отырып, 20-35 градус құлау бұрышы бар көлбеу кеншоғырларды өндірудің жаңа технологиясы Жыланды кен орнын зерттеу негізінде әзірленді.

Түйін сөздер: көлбеу кеншоғыр, камерааралық кентірек, тұрақтылық, тазарту камерасы, беріктік қоры, сандық модельдеу, қазу жүйесі.

STUDIES OF THE PATTERNS OF DEFORMATION CHANGES DEPENDING ON THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE TREATMENT FACE FOR INCLINED DEPOSITS

D.K. Takhanov, M.J. Balpanova ✉, **D.T. Ivadilina**

Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan,

e-mail: balpanova86@mail.ru

The article considers the development of a technological scheme for mining inclined deposits with an angle of incidence from 20 to 35 degrees on the example of the Zhilandy deposit using a chamber-column system. Deterioration of geomechanical conditions caused by incorrect parameters of the development system requires adjustment of these parameters. To solve this problem, modeling of the rock mass using the finite element method was carried out. As a result, the main compressive and tensile stresses were determined depending on the depth of working. The calculation of the parameters of the inter-chamber targets was also carried out taking into account various mining factors. The analysis of the numerical simulation results made it possible to determine the permissible parameters of the cleaning chamber and the inter-chamber whole depending on the angle of occurrence. It was found that the inter-chamber whole of the classical vertical shape is permissible only when the angle of incidence of the ore body is up to 25 degrees. A new technology for mining inclined deposits with an angle of incidence of 20-35 degrees using a chamber-column system was developed based on studies of the Zhilandy deposit.

Keywords: inclined deposit, inter-chamber whole, stability, cleaning chamber, safety margin, numerical modeling, development system

Введение. Технологические параметры очистного забоя при камерно-столбовой системе разработки зависит от формы и расположения междукамерных целиков.

Расчет параметров барьерных и междукамерных целиков осуществляется с учетом следующих горнотехнических условий разработки: глубины разработки, мощности и угла падения рудной залежи, сложности горно-геологических условий разработки, физико-механических свойств пород (прочность, крепость), трещиноватости и строения вмещающих пород.

Для решения тех или иных инженерных задач горного дела, помимо качественного описания геомеханических процессов, необходима их количественная оценка, которая может быть получена в результате натурных измерений различных проявлений геомеханических процессов или в результате их моделирования. Моделирование обладает тем преимуществом по сравнению с на-

турными измерениями, что раскрывает общие качественные и количественные закономерности геомеханических процессов. Для анализа геомеханических процессов зачастую используется математическое моделирование.

В инженерной практике для учета факторов, которые не удается ввести в расчетную схему, используют различные коэффициенты, полученные эмпирическим путем на основе натурных наблюдений или данных лабораторных испытаний. Такой подход чреват эффектом «накопления ошибок»: проектировщик выбирает значение нужных ему коэффициентов из некоторого диапазона, не имея достаточного основания для выбора именно этих значений. Чем больше коэффициентов нужно ввести, тем больше вероятность того, что получаемая в результате величина отклоняется от своего истинного значения, и тем больше это отклонение. С развитием новых вычислительных технологий в горном деле численные методы ста-

ли все более популярными в математическом моделировании для решения различных инженерных задач. Они дополняют традиционные аналитические методы.

Более точное решение поставленной задачи можно получить, если расчетная схема и метод решения позволяют изначально учесть интересные исследователя факторы. Широкие возможности открывают в этом плане так называемые численные методы решения, заимствованные из механики деформируемого твердого тела. Наиболее эффективные из них - метод конечных элементов (МКЭ) и метод граничных элементов (МГЭ). Интенсивное их развитие и применение в практике инженерных расчетов стало возможным с развитием и доступностью вычислительной техники.

Одним из широко используемых в решении задач горного дела методами конечных элементов является программа RS-2, разработанный компанией Rocscience. Программное обеспечение RS-2 предназначена для двумерного анализа массива горных пород методами конечных элементов. Программа позволяет моделировать и анализировать сложные геотехнические задачи.

Материалы и методы. Решение задач ме-

ханики деформируемого твердого тела методом конечных элементов основывается на применении приближенных методов вычислений, методов матричной и линейной алгебры. Численное моделирование массива горных пород методом конечных элементов в ПО RS-2 позволяет определить зоны разгрузки и концентрации напряжения, смещения пород, коэффициент запаса прочности, величину главных напряжений действующие в массиве, зоны упругих и неупругих деформации и величины коэффициента запаса прочности пород, расчет параметров крепи и многих других процессов, происходящие вокруг выработанного пространства.

Данные о характеристиках горных пород и руд получены с результатов, ранее выполненных исследований на Жыландинской группы месторождения [1]. В таблице 1 приведены физико-механические свойства и данные о структурных свойствах массива горных пород для выполнения численного моделирования массива горных пород с использованием по RS-2.

Целью моделирования является определение допустимых параметров очистной камеры и междуканальных целиков при отработке наклонных залежей углом падения до 35 градусов.

Таблица 1 - Деформационно-прочностные характеристики образцов горных пород проб 1-5 в водонасыщенном состоянии при одноосном сжатии

№ пробы	№ образца	Предел прочности $\sigma^{сод}$, МПа	Модуль деформации E, ГПа	Коэффициент поперечной деформации ν	Предел прочности $\sigma^{сод}$, МПа (сред. знач.)	Модуль деформации E, ГПа (сред. знач.)	Коэффициент поперечной деформации ν (сред. знач.)
4 Песчаник красный	4-1-1в	66,4	10,393	0,209	71,7	13,136	0,187
	4-1-2в	83,4	10,740	0,190			
	4-1-3в	61,6	13,479	0,182			
	4-1-4в	68,1	12,103	0,159			
	4-1-5в	76,7	9,069	0,192			
	4-1-6в	73,8	23,029	0,188			
5 Алевролит	5-1-1в	64,8	10,992	0,207	87,1	16,835	0,178
	5-1-2в	122,3	20,385	0,149			
	5-1-3в	56,9	14,423	0,201			
	5-1-4в	53,9	10,499	0,158			
	5-1-5в	109,7	19,079	0,185			
	5-1-6в	115,2	25,631	0,168			

При моделировании эти значения были обобщены, изменялся лишь параметр GSI. Рейтинг GSI является одним из важных параметров, су-

щественно влияющих на результаты моделирования. В расчетах выполнялись с применением критерия Хука-Брауна. GSI, представленный Хуком

и Брауном в 1994, 1995 и 1998 г.г., представляет собой систему полевого определения прочности породного массива для различных геологических условий, которая основана на визуальной оценке структуры массива (блочности) и характеристик трещин (шероховатость и степень изменения). Сочетание этих двух параметров позволяет выполнить оценку породного массива, имеющего различную структуру.

Для обоснования параметров очистной камеры и целиков выполнялся численное моделирование с изменением ширины камер и МКЦ. Моделирование выполнялось для углов падения 20, 25, 30 и 35 градусов. В ходе моделирования определены показатели коэффициента запаса прочности (SF), а также показатели главных сжимающих (σ_1) и растягивающих (σ_3) напряжений. Определение необходимых участков, таких как зона концентрации и разгрузки напряжения, осуществляется за счет главных сжимающих и растягивающих напряжений [2].

При проведении горной выработки происходит перераспределение напряжений в окружающих породах: одни из компонентов тензора напряжений возрастают, другие уменьшаются. Степень изменения напряжений по сравнению с исходным их уровнем называется концентрацией и разгрузкой. По стандартам международного общества по горной механике (ISRM) для безопасного ведения горных работ, коэффициент запаса устойчивости горных пород должен быть выше значения 1,2 [3].

Значение 1,2, использованное в рамках исследования, принято на основании исследования Рида и Стэйси (2009 г.), проведенного в продолжение работ Суона и Сепульведы (2000 г.). результаты данного исследования признаны международным обществом по горной механике (ISRM) [3].

Для горнотехнических условий разработки Жиландинского месторождения расположение междукамерных целиков принимается по квадратной сетке с расстоянием между осями равным 20x20м.

Согласно Технологическому регламенту по

применению камерно-столбовой системы разработки с оставлением столбчатых целиков на подземных рудниках Жезказганского месторождения [4], при отработке наклонных залежей соблюдать следующие условия расположения междукамерных целиков:

- в диапазоне изменения углов падения залежей 15° - 25° междукамерные целики размещать вертикально;

- в диапазоне изменения углов падения залежей свыше 25° до 35° междукамерные целики должны быть размещены с наклоном в сторону восстания на угол $\beta = \alpha/2$ (где: α - угол падения залежей) относительно нормали к напластованию.

Результаты и обсуждения. На ниже приведенных рисунках представлены результаты численного моделирования при мощности рудного тела 5 метров и при углах падения 20-35 градусов. Моделирование выполнено на основе анализа физико-механических свойств и структурных особенностей горных пород.

По результатам моделирования, представленные на рисунках 1, 2 и 3 видно, что при угле падения 20 градусов очистная камера и целики в целом находятся в устойчивом состоянии. К чему свидетельствует запас прочности массива горных пород, представленного виде графика на рисунке 5. По графику видно, что минимальный запас прочности выше значения 1,2, из которого следует предполагать, что МКЦ и очистная камера находится в устойчивом состоянии. Максимально допустимая ширина очистной камеры равен 13,0 метров при минимальной мощности МКЦ 7,0 метров.

При ширине камеры 14 метров и мощности МКЦ 6 метров (рис. 4) высота неустойчивых участков по кровле камеры составляет 2,5 метров, а разрушение МКЦ достигает до 1,8 метров, из чего следует утверждать, что риски обрушения горных пород и разрушения МКЦ велики.

При отработке запасов руды при угле падения 20 градусов камерно-столбовой системой разработки законтурный массив устойчив, возможны локальные разрушения горных пород до 0,5 метров преимущественно с кровли выработки виде

отслоений и заколов [5]. МКЦ находится в устойчивом состоянии, к чему свидетельствует запас прочности МКЦ 1,3 и более.

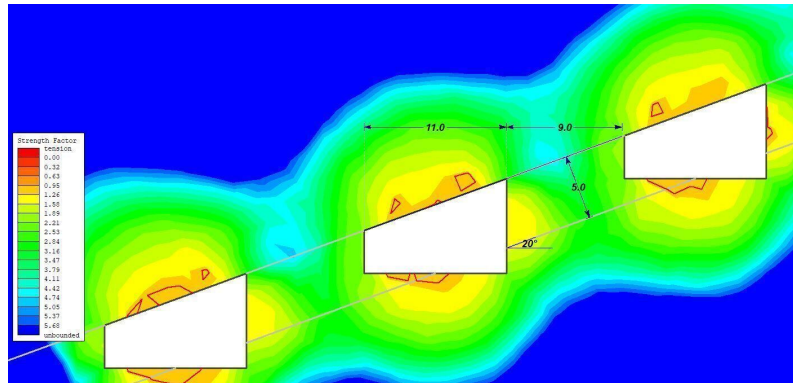


Рис. 1 - Коэффициент запаса прочности законтурного массива при параметрах очистной камеры 11x9 м и при угле падения 20 градусов

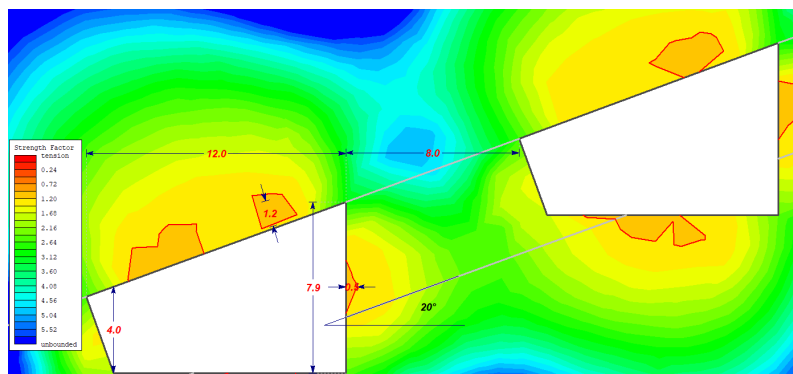


Рис. 2 - Коэффициент запаса прочности законтурного массива при параметрах очистной камеры 12x8 м и при угле падения 20 градусов

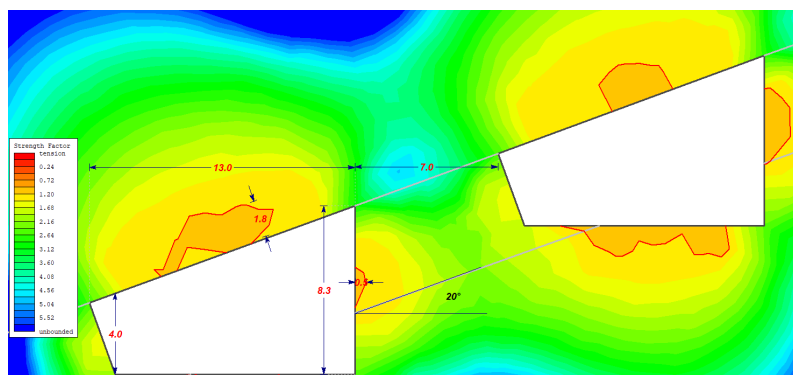


Рис. 3 - Коэффициент запаса прочности законтурного массива при параметрах очистной камеры 13x7 м и при угле падения 20 градусов

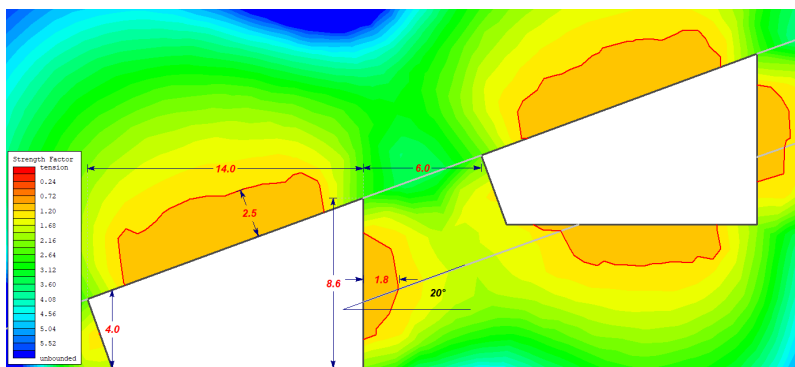


Рис. 4 - Коэффициент запаса прочности законтурного массива при параметрах очистной камеры 14x6 м и при угле падения 20 градусов

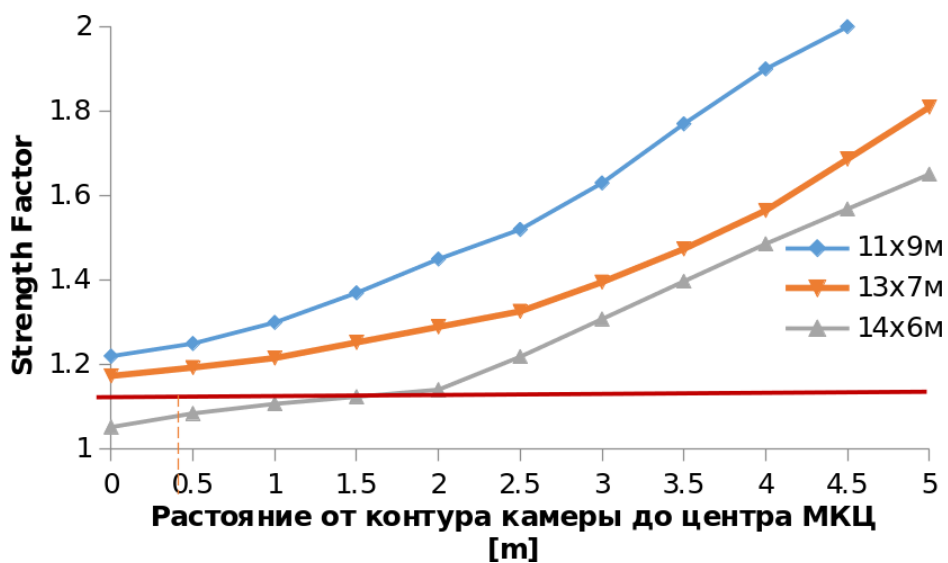


Рис. 5 - Изменение коэффициента запаса прочности МКЦ в зависимости от изменения ширины камеры и мощности МКЦ

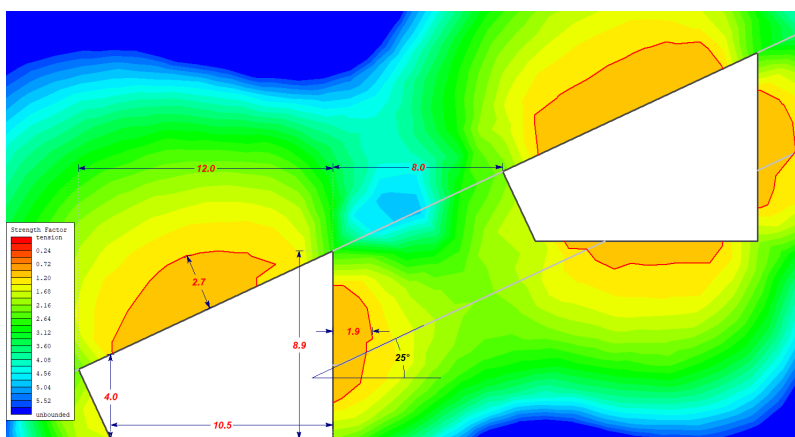


Рис. 6 - Коэффициент запаса прочности законтурного массива при параметрах очистной камеры 12x8 м и при угле падения 25 градусов

При обработке запасов руды при угле падения 20 градусов не требуется изменение формы МКЦ на трапециевидную, так как прямые столбчатые МКЦ в полной мере могут обеспечить устойчивость массива горных пород.

Далее был выполнен моделирование с изменением угла падения до 25 градусов результаты которого приведены на рисунках 6 и 7.

По результатам численного анализа (рис. 6)

видно, что при ширине камеры 12 метров и диаметре МКЦ 8 метров коэффициент запаса прочности пород находится выше критической отметки равной 1.2. Также результаты моделирования показал, что возможны обрушения части МКЦ до глубины 1,9 метра, а по кровле очистной камеры зона возможного обрушения доходит до 2,7 метра. В целом МКЦ и очистная камера находится в устойчивом состоянии.

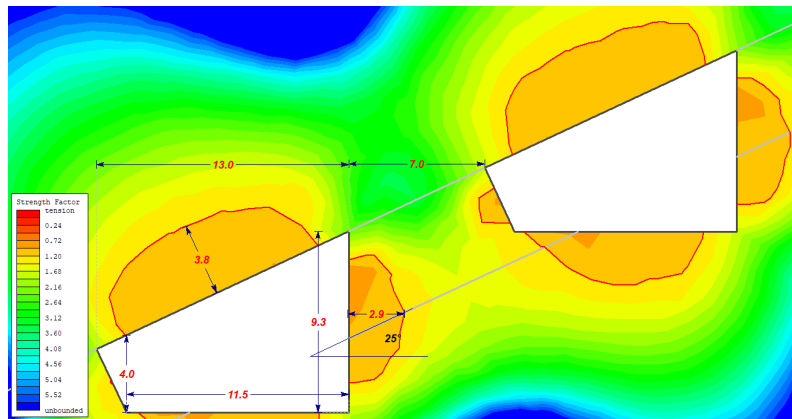


Рис. 7 - Коэффициент запаса прочности законтурного массива при параметрах очистной камеры 13x7 м и при угле падения 25 градусов

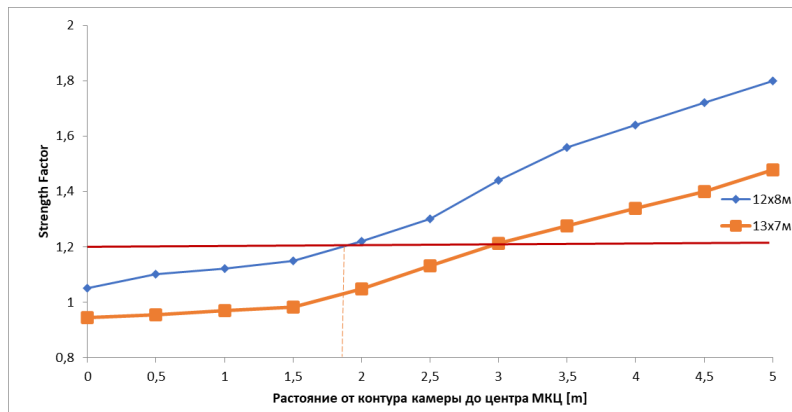


Рис. 8 - Изменение коэффициента запаса прочности МКЦ

На рисунке 7 приведены результаты численного анализа при ширине камеры 13 метров и диаметре МКЦ 7 метров. При таких параметрах по кровле очистной камеры возможны обрушения до глубины 3,8 метров, а разрушение МКЦ может достигать до 2,9 метров.

На рисунке 8 приведены изменение коэффици-

ента запаса прочности МКЦ в зависимости отдаленности от контура камеры.

При угле 25 градусов был выбран трапециевидная форма МКЦ, так как результаты численного анализа показали, что при столбчатой форме МКЦ вероятность разрушение МКЦ более высокая. Сравнение результатов моделирования запа-

са прочности трапециевидной и прямоугольной МКЦ диаметром 8 метров приведен на рисунке 9.

Исходя из вышеизложенного следует, что классическая (прямоугольная) форма МКЦ не эффективен при угле падения рудного тела 25 градусов и более. Следовательно, при численном анализе массива горных пород при углах падения рудного тела 30-35 градусов целесообразно при-

нимать трапециевидную форму МКЦ.

На рисунках 10-11 представлены результаты моделирования при угле 30 градусов. Следует отметить, что при ширине камеры 12 метров и диаметре МКЦ 8 метров. При таких параметрах по кровле очистной камеры возможны обрушения до глубины 4,6 метров, а разрушение МКЦ может достигать до 5,3 метров (рис. 10).

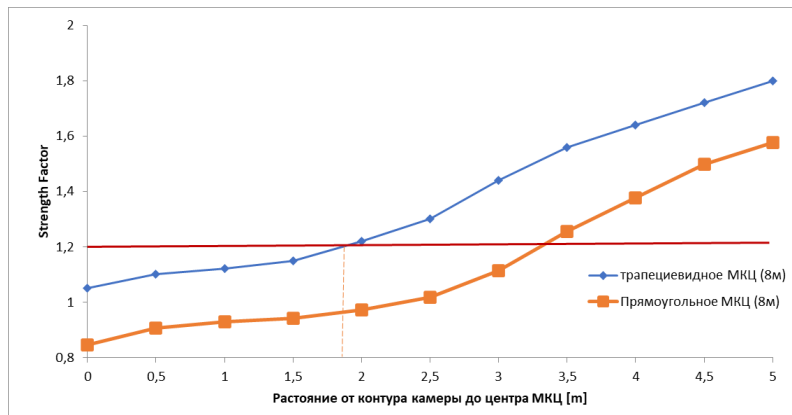


Рис. 9 - Сравнение трапециевидной и прямоугольной формы МКЦ

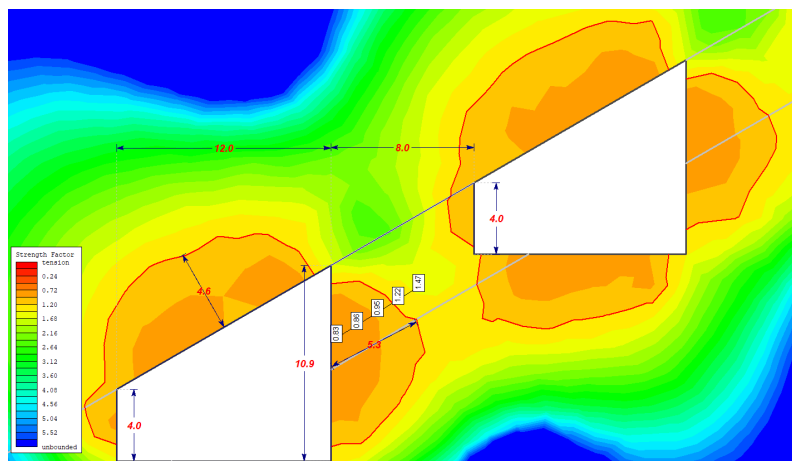


Рис. 10 - Коэффициент запаса прочности законтурного массива при параметрах очистной камеры 12x8 м и при угле падения 30 градусов

Далее был выполнен численный анализ с изменением формы МКЦ и очистной камеры на трапециевидную форму [6].

Аналогично как на предыдущих моделях был выполнен численный анализ с изменением ширины камеры на 11 метров, соответственно диамет-

ра МКЦ на 9 метров. На рисунке 11 приведены результаты численного моделирования. По рисунку видно, что зона возможного обрушения по кровле очистной камеры не превышает 1,9 метров, тогда как, разрушение МКЦ не превышает 1,8 метра, коэффициент запаса прочности пород

больше отметки 1.2, что говорит об устойчивости МКЦ и камеры.

На рисунке 12 представлена график изменение запасов прочности классической (12x8 м) и тра-

пещевидной (11x9 м) формы МКЦ, по которому следует, что при классической форме возможная глубина разрушения может достигать более 5 метров, тогда как при трапециевидном МКЦ данный показатель не более 1,8 метров.

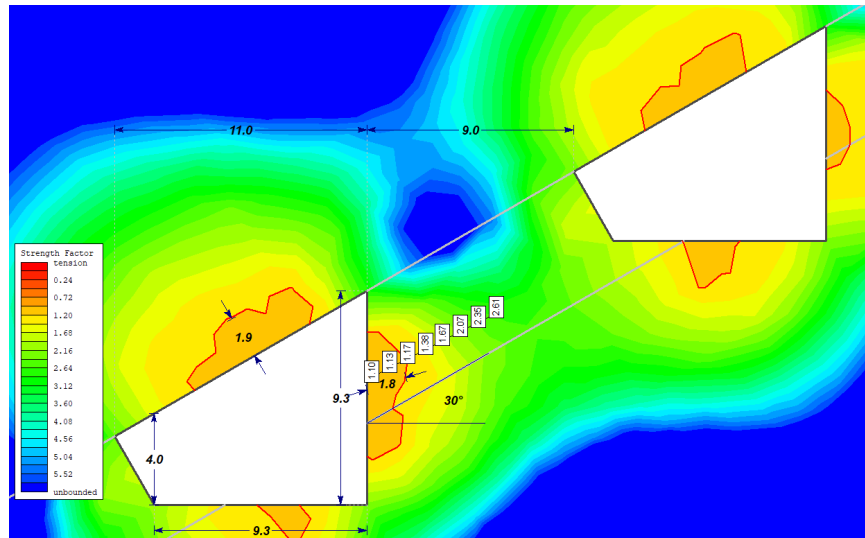


Рис. 11 - Коэффициент запаса прочности законтурного массива при параметрах очистной камеры 11x9 м и при угле падения 30 градусов

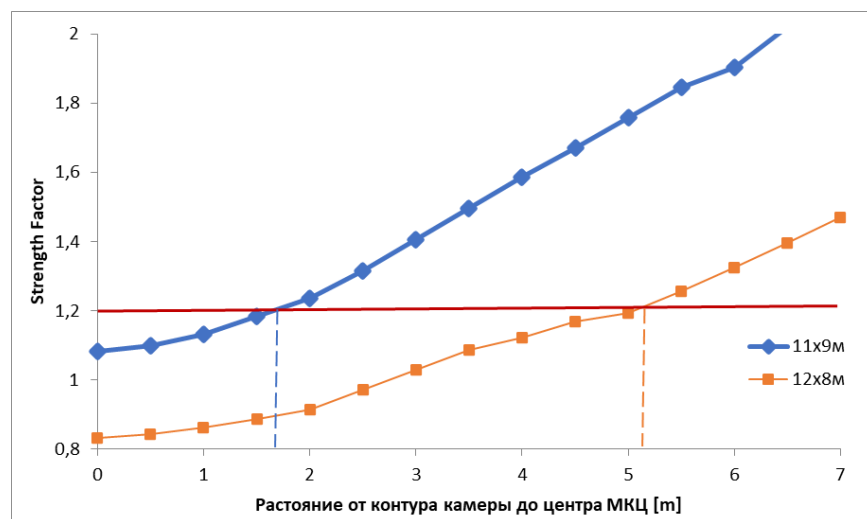


Рис. 12 - Изменение коэффициента запаса прочности МКЦ

На рисунках 13-14 представлены результаты численного моделирования массива горных пород при угле падения залежей 35 градусов.

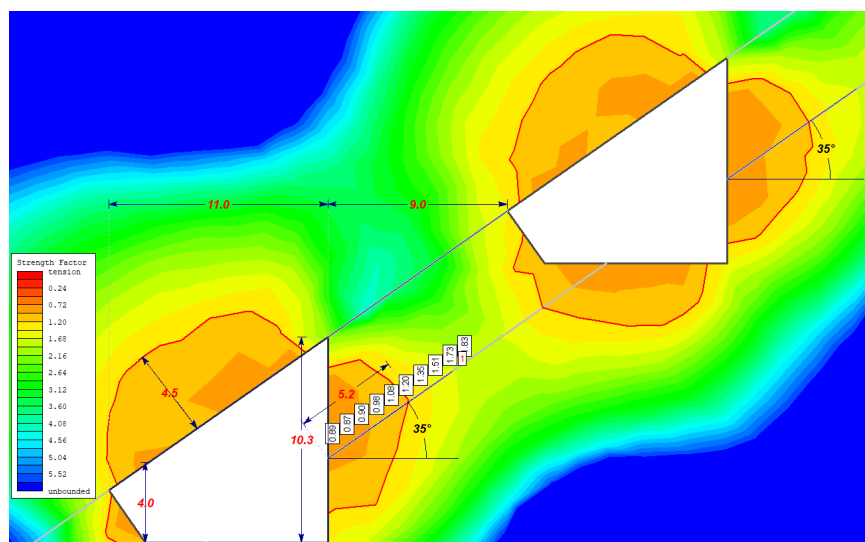


Рис. 13 - Коэффициент запаса прочности законтурного массива при параметрах очистной камеры 11х9 м и при угле падения 35 градусов

По результатам численного моделирования при угле падения горных пород 35 градусов коэффициент запаса прочности МКЦ трапециевидной формы мощностью 9 метров и при ширине очистной камеры 11 метров (рис. 13) разрушение МКЦ могут достигать до 5,2 метров, а обрушение кровли могут достигать до 4,5 метров, что ниже допустимых значений. Из чего следует предполагать, МКЦ не устойчив и вероятность разрушения весьма велика [7].

На рисунке 14 представлены результаты моделирования при параметрах очистной камеры и МКЦ 10х10 м. В данном случае разрушение МКЦ не превышает 2,2 метра, а обрушение горных пород по кровле не превышает 1,7 метров.

Для более детального сравнение результатов численного моделирования выполненных методами конечных элементов построена график сравнение коэффициента запаса прочности, представленного на рисунке 15.

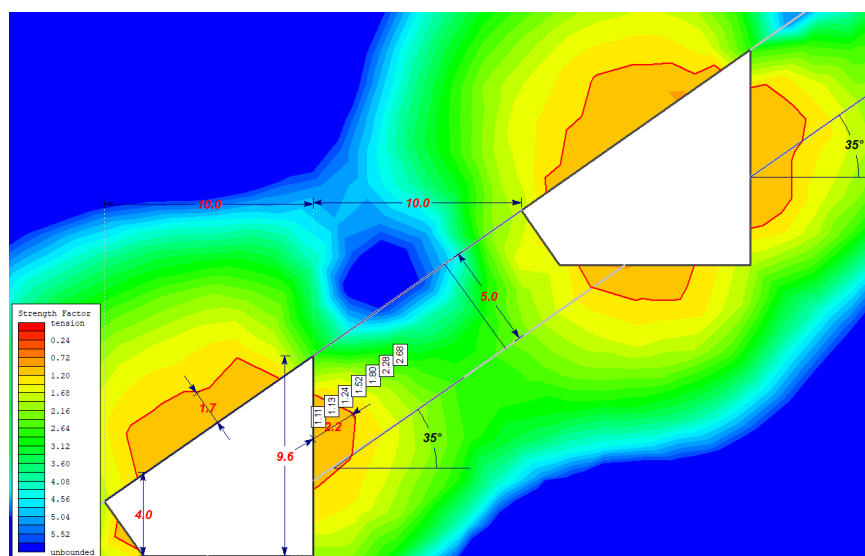


Рис. 14 - Коэффициент запаса прочности законтурного массива при параметрах очистной камеры 10х10 м и при угле падения 35 градусов

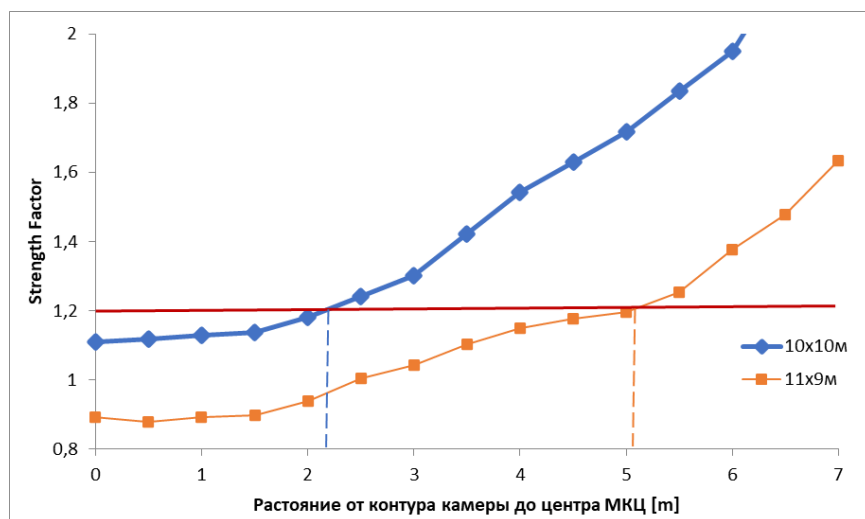


Рис. 15 - Изменение коэффициента запаса прочности МКЦ

В соответствии анализа результатов численного моделирования массива горных пород методом конечных элементов построены несколько графиков зависимости, первый из которых приведен на рисунке 16.

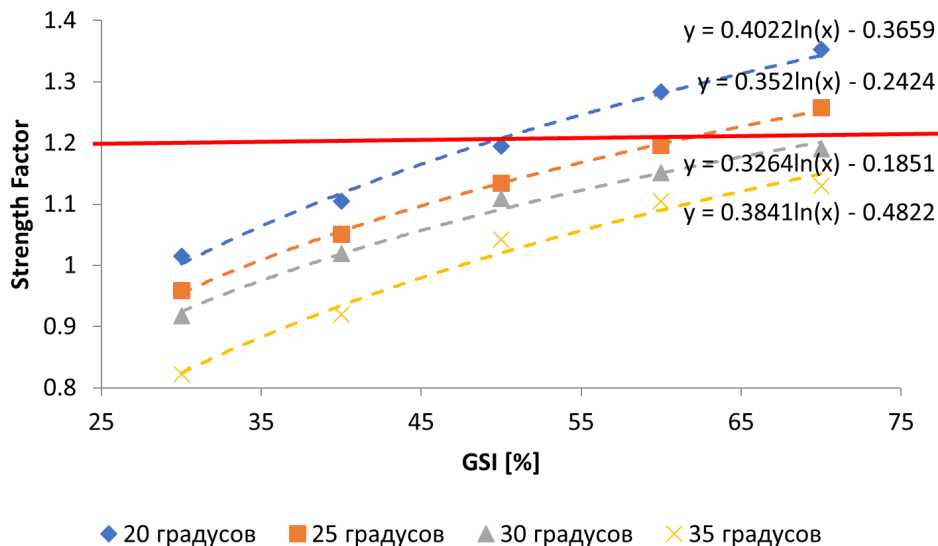


Рис. 16 - График зависимости запаса прочности от GSI и угла падения (при прямоугольной форме МКЦ)

Данный график наглядно показывает, что МКЦ прямоугольной формы допустима только в случае, если угол падения 20 градусов и GSI не менее 50 %, в остальных случаях горный массив не устойчив и вероятность обрушения МКЦ весьма велика.

На следующем рисунке 17 представлены аналогичный график зависимости, только для трапециевидной формы МКЦ мощностью 10 метров. Данный график построен на основе интерпретации данных численного анализа МКЭ. Был выполнен анализ с различными вариантами GSI.

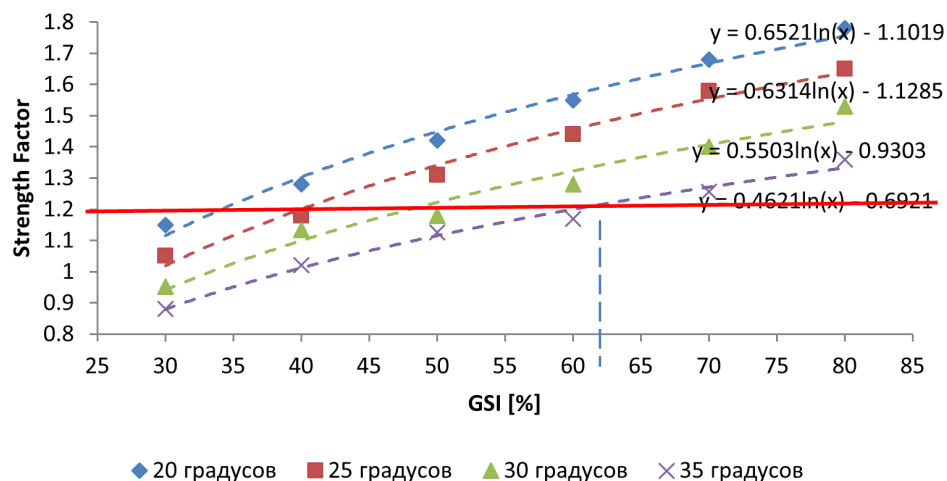


Рис. 17 - График зависимости запаса прочности от GSI и угла падения (при трапециевидной форме МКЦ)

По полученным результатам видно, что коэффициент запаса прочности (SF) напрямую зависит от рейтинга массива GSI и угла падения залежей [8].

По графику видно, что трапециевидная форма МКЦ в целом обеспечивает сохранность выработанного пространства и целиков при углах падения:

20 градусов - обеспечивает сохранность МКЦ и камеры при GSI не менее 35%;

25 градусов - обеспечивает сохранность МКЦ и камеры при GSI не менее 40%;

30 градусов - обеспечивает сохранность МКЦ и камеры при GSI не менее 50%;

35 градусов - обеспечивает сохранность МКЦ и камеры при GSI не менее 63%.

Выводы. Для обоснования допустимых параметров очистных камер и целиков был выполнен анализ данных полученных в результате численного моделирования массива горных пород. На основе комплекса выполненных исследований определены допустимые параметры очистной камеры и междукамерного целика в зависимости от угла залегания.

На основе численного моделирования массива горных пород углом падения 20-35 градусов методами конечных элементов в программе RS-2 и в результате дальнейшего анализа полученных данных о напряженно-деформационного состояния

были построены графики зависимости позволяющие определять коэффициент запаса прочности (Strength Factor) в зависимости от геологического индекса прочности (GSI) [9].

Результаты моделирования показывает, что МКЦ классической (вертикальной) формы мощностью 7 метров допустим только в случае, если угол падения рудного тела 20-25 градусов и GSI не менее 50 %, в остальных случаях горный массив не устойчив и вероятность обрушения МКЦ [10] весьма велика.

По результатам моделирования напряженного состояния следует, что в окружающих выработку породах возникает зоны концентрации и разгрузки напряжений. Она довольно быстро убывает вглубь массива, и на расстоянии 5-7 полупролетов выработки напряжения практически не отличаются от тех, что действовали в массиве до проведения выработки.

Финансирование: Научно-исследовательская работа выполнена в рамках ГФ Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан №АР 19677938 по теме «Создание метода прогнозирования сдвижения вмещающих пород до земной поверхности для модернизации технологии повторной разработки пологих рудных залежей» на 2023-2025 гг. Авторский коллектив также выражает благодарность руководству ТОО «Корпорация Казахмыс» за предоставленную возможность проведения исследователь-

ских работ на базе предприятия. Особую благодарность следует выразить редакторам и рецензентам журнала за их ценные советы, которые были учтены для улучшения качества публикации.

Литература

1. Отчет о научно-исследовательской работе: Геомеханическое обоснование отработки месторождений Жиландинской группы [док.внутреннего пользования] / ТОО «Expert PRO». - Сатпаев-Усть-Каменогорск, 2022 .
2. Shichuan Zhang, Yangyang Li, Baotang Shen, Xizhen Sun, Liqun Gao. Effective evaluation of pressure relief drilling for reducing rock bursts and its application in underground coal mines // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. -2019. Vol. 114(11). -P. 7-16. DOI 10.1016/j.ijrmms.2018.12.010
3. Read John & Stacey Peter. Guidelines for Open Pit Slope Design. - 2009. DOI 10.1071/9780643101104
4. Технологическая инструкция по применению камерно-столбовой системы разработки [док.внутреннего пользования] /ТОО «Корпорация Казахмыс». - Жезказган, 2017.
5. Zhiembayev, A., Zharaspaev, M., Balpanova, M., Nurkasyn, N., Asanova, Z., Zhakupov, B. Analysis of the roof span stability in terms of room-and-pillar system of ore deposit mining// Mining of Mineral Deposits. - 2023. Vol. 17(1). - P. 129-137. DOI 10.33271/mining17.01.129
6. Mahdevari, Satar & Shahriar, Kouros & Sharifzadeh, Mostafa & Tannant, Dwayne. (2017). Stability prediction of gate roadways in longwall mining using artificial neural networks // Neural Computing and Applications. -2016. -Vol. 28. -P. 3537-3555. DOI 10.1007/s00521-016-2263-2
7. Fitsak V.V., Lomakina E.S., Strakhova A.A. and Chernobai V.I. Determination of Room-and-Pillar system parameters for Transition to Greater Depths// International Journal of Applied Engineering Research. - 2017. - Vol. 12(22). -P. 12322-12331.
8. Ivadilinova, D. & Issabek, T. & Takhanov, D. & Yeskenova, Gulnura. Predicting underground mining impact on the earth's surface // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. -2023. -P. 32-37. DOI 10.33271/nvngu/2023-1/032
9. Félix Del Pozo, Eduardo Córdova, Carlos Marquardt, Rodolfo Cabezas G, Philip Benson, Nick Koor, John Browning, Rocío Rudloff, Development of a geomechanical model based on suitable estimations of GSI and UCS in mining production slopes at the TilTil district, central Chile // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. - 2023. - Vol. 167(3). DOI 10.1016/j.ijrmms.2023.105390
10. Serebryakov E.V., Gladkov A.S. Geological and structural characteristics of deep-level rock mass of the Udachnaya pipe deposit // Journal of Mining Institute. - 2021. - Vol. 250. - P. 512-525. DOI 10.31897/PMI.2021.4.4

References

1. Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote: Geomekhanicheskoe obosnovanie otrabotki mestorozhdenii Zhilandinskoi gruppy [dok.vnutrennego pol'zovaniya] / ТОО «Expert PRO». - Satpaev-Ust'-Kamenogorsk, 2022.
2. Shichuan Zhang, Yangyang Li, Baotang Shen, Xizhen Sun, Liqun Gao. Effective evaluation of pressure relief drilling for reducing rock bursts and its application in underground coal mines // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. -2019. Vol. 114(11). -P. 7-16. DOI 10.1016/j.ijrmms.2018.12.010
3. Read John & Stacey Peter. Guidelines for Open Pit Slope Design. - 2009. DOI 10.1071/9780643101104

-
4. Tekhnologicheskaya instruktsiya po primeneniyu kamerno-stolbovoi sistemy razrabotki [dok.vnutrennego pol'zovaniya] /TOO «Korporatsiya Kazakhmys». - Zhezkazgan, 2017.
 5. Zhiembayev, A., Zharaspaev, M., Balpanova, M., Nurkasyn, N., Asanova, Z., Zhakupov, B. Analysis of the roof span stability in terms of room-and-pillar system of ore deposit mining// Mining of Mineral Deposits. - 2023. Vol. 17(1). - P. 129-137. DOI 10.33271/mining17.01.129
 6. Mahdevari, Satar & Shahriar, Kourosh & Sharifzadeh, Mostafa & Tannant, Dwayne. (2017). Stability prediction of gate roadways in longwall mining using artificial neural networks // Neural Computing and Applications. -2016. -Vol. 28. -P. 3537-3555. DOI 10.1007/s00521-016-2263-2
 7. Fitsak V.V., Lomakina E.S., Strakhova A.A. and Chernobai V.I. Determination of Room-and-Pillar system parameters for Transition to Greater Depths// International Journal of Applied Engineering Research. - 2017. - Vol. 12(22). -P. 12322-12331.
 8. Ivadilinova, D. & Issabek, T. & Takhanov, D. & Yeskenova, Gulnura. Predicting underground mining impact on the earth's surface // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. -2023. -P. 32-37. DOI 10.33271/nvngu/2023-1/032
 9. Félix Del Pozo, Eduardo Córdova, Carlos Marquardt, Rodolfo Cabezas G, Philip Benson, Nick Koor, John Browning, Rocío Rudloff, Development of a geomechanical model based on suitable estimations of GSI and UCS in mining production slopes at the TilTil district, central Chile // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. - 2023. - Vol. 167(3). DOI 10.1016/j.ijrmms.2023.105390
 10. Serebryakov E.V., Gladkov A.S. Geological and structural characteristics of deep-level rock mass of the Udachnaya pipe deposit // Journal of Mining Institute. - 2021. - Vol. 250. - P. 512-525. DOI 10.31897/PMI.2021.4.4

Information about the authors

D.K. Takhanov - Candidate of Technical Sciences, Karaganda Technical University named after Abylka Saginov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: takhanov80@mail.ru;

Balpanova M.J. - PhD, Karaganda Technical University named after Abylka Saginov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: balpanova86@mail.ru;

Ivadilinova D.T. - PhD, Karaganda Technical University named after Abylka Saginov, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: dinulb@mail.ru.

Сведения об авторах

Таханов Д.К. - кандидат технических наук, Карагандинский технический университет имени Абылка Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: takhanov80@mail.ru;

Балпанова М.Ж. - доктор PhD, Карагандинский технический университет имени Абылка Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: balpanova86@mail.ru;

Ивадилинова Д.Т. - доктор PhD, Карагандинский технический университет имени Абылка Сагинова, Караганда, Казахстан, e-mail: dinulb@mail.ru.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ ОТВАЛЬНЫХ ХВОСТОВ

¹А.Р. Мамбеталиева, ¹Г.К. Макашева✉, ¹Т.Ш. Тусупбекова, ²С. К. Калиаскаров,
²С. Сағатбек

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан,
²ТОО «КазГидроМедь», Караганда, Казахстан

✉Корреспондент-автор: mguldanka@mail.ru

Проблемы, с которыми приходится сталкиваться горнодобывающей промышленности для достижения утилизации отвальных хвостов в соответствии с принципами экономики замкнутого цикла, включает в себя улучшение довольно ограниченных знаний о минералогии, концентрации примесей и объём хвостов в хвостохранилищах. Также необходимо разработка технологий, чтобы сделать процесс экономически целесообразным. Для улучшения показателей операции измельчения и оказать существенное влияние на обогащение ценных компонентов было изучена влияния ультратонкого измельчения на степень раскрываемости медных минералов отвальных хвостов.

На основании оптико-минералогических исследований установлено, что абсолютно раскрытые зерна халькопирита составляют не более 35 % от общего количества зерен, их размер в основном (на 60 % отн.) в пределах класса 10-45 мкм. Анализ ситовых характеристик хвостов после ультратонкого измельчения показывает, что наибольшая концентрация меди приходится на самый тонкий класс -0,006+0 мм, что свидетельствует о высоком раскрытии медных минералов за счет ультратонкого измельчения. Флотационные тесты по определению влияния степени ультратонкого измельчения показала, что с увеличением тонины помола по классу крупности – 0,045 + 0 мм до 86 % повышается извлечения меди с 66,49 до 73,52 %; золота 71,07 до 77,78 %; серебро 70,29 до 76,71 %.

Ключевые слова: обогащение полезных ископаемых, флотация, ультратонкое измельчения, отвальные хвосты, халькопирит, минералогический анализ.

УЛЬТРА ҰСАҚ ҰНТАҚТАУДЫҢ ҮЙІНДІ ҚАЛДЫҚТАРДЫҢ БАЙЫТУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ӘСЕРІ

¹А.Р. Мамбеталиева, ¹Г.К. Макашева✉, ¹Т.Ш. Тусупбекова, ²С. К. Калиаскаров,
²С. Сағатбек

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан,
²«ҚазГидроМедь» ЖШС, Қарағанды, Қазақстан,
e-mail: mguldanka@mail.ru;

Айналым экономика қағидаларына сәйкес үйінді қалдықтарды кәдеге жаратуға қол жеткізу үшін тау-кен өнеркәсібінің алдында тұрған мәселелер минералогия, қоспалардың концентрациясы және қалдық қоймаларындағы қалдықтардың көлемі туралы шектеулі білімді жақсартуды қамту қажет. Процесті экономикалық тұрғыдан тиімді ету үшін технологияны дамыту қажет. Ұнтақтау операциясының көрсеткіштерін жақсарту және құнды компоненттерді байытуға айтарлықтай әсер ету үшін ультра жұқа ұнтақтаудың үйінді қалдықтарының мыс минералдарының ашылу дәрежесіне әсері зерттелді.

Оптикалық-минералогиялық зерттеулер негізінде мүлдем ашылған халькопирит дәндері дәндердің жалпы санының 35% - дан аспайтыны, олардың мөлшері негізінен (60% - ға) құрайтыны анықталды.) 10-45 мкм класс шегінде. Ультра жұқа ұнтақтаудан кейін құйрықтардың елеуіш сипаттамаларын талдау мыстың ең жоғары концентрациясы -0,006+0 мм ең жұқа класқа жататынын көрсетеді, бұл ультра жұқа ұнтақтау арқылы мыс минералдарының жоғары ашылуын көрсетеді. Ультра ұсақ ұнтақтау дәрежесінің әсерін анықтау бойынша флотациялық сынақтар ұнтақтау тоннасының ұлғаюымен ұсақтау класы бойынша – 0,045 + 0 мм-ден 86% - ға дейін мыс алу 66,49-дан 73,52% - ға дейін; алтын 71,07-ден 77,78% - ға дейін; күміс 70,29-дан 76,71% - ға дейін артқанын көрсетті.

Түйін сөздер: пайдалы қазбаларды байыту, флотация, ультра жұқа ұнтақтау, үйінді қалдықтар, халькопирит, минералогиялық талдау.

THE EFFECT OF ULTRAFINE GRINDING ON THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE ENRICHMENT OF DUMP TAILINGS

¹A.R. Mambetaliyeva, ¹G.K. Makasheva✉, ¹T.Sh Tusupbekova, ²S.K. Kaliaskarov,
²S. Sagatbek

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,

²Research Engineer at Kazhydromed LLP, Karaganda, Kazakhstan,

e-mail: mguldanka@mail.ru;

The challenges that the mining industry has to face in order to achieve tailings disposal in accordance with the principles of a closed-loop economy include improving rather limited knowledge about mineralogy, impurity concentrations and tailings volume in tailings dumps. It is also necessary to develop technologies to make the process economically feasible. In order to improve the performance of the grinding operation and have a significant impact on the enrichment of valuable components, the effects of ultrathin grinding on the degree of disclosure of copper minerals of dump tailings were studied.

Based on optical and mineralogical studies, it was found that the completely uncovered chalcopyrite grains make up no more than 35% of the total number of grains, their size is mainly (by 60% relative) within the class of 10-45 microns. Analysis of the sieve characteristics of the tailings after ultrathin grinding shows that the highest concentration of copper falls on the thinnest class -0.006+0 mm, that indicates a high disclosure of copper minerals due to ultrathin grinding. Flotation tests to determine the effect of the degree of ultrathin grinding showed that with an increase in the fineness of grinding in the size class – 0.045 + 0 mm to 86%, the extraction of copper increases from 66.49 to 73.52%; gold 71.07 to 77.78%; silver 70.29 to 76.71%.

Keywords: mineral processing, flotation, ultra-fine grinding, waste tailings, chalcopyrite, mineralogical analysis.

Введение. В настоящее время измельчение играет жизненно важную роль в различных областях, включая горнодобывающую, химическую, цементную и строительную промышленность. Для обогащения полезных ископаемых подготовительным является измельчение, целью которого является завершение мономерного отделения ценных минералов от пустых, и получение квалифицированного материала для дальнейшего обогащения [1]. Технологическая производительность измельчения фактически определяет производительность обогащения и качество продуктов, тем самым напрямую влияя на показатель содержания концентрата [2]. По сравнению со стальной шаровой средой, керамическая шаровая среда обладает характеристиками хорошей изно-

состойкости, высокой твердости и низкой плотности, и, таким образом, может значительно снизить расход мощности измельчения и мелющих тел при применении в мельницах с перемешиванием мелющей среды [1,3,]. Кроме того, керамическая шаровая среда может улучшить флотационные характеристики цветных и благородных руд за счет восстановления ионов железа, образующихся при измельчении [4]. Следовательно, улучшение показателей операции измельчения может оказать существенно влияние на обогащение полезных ископаемых.

По мере истощения крупнозернистых, легко перерабатываемых рудных тел перерабатываются более вкрапленные, мелкозернистые руды. Адекватное высвобождение ценных компонентов в мелкозернистой руде часто достигается только после того, как размер частиц руды был уменьшен до уровня ниже традиционной границы шаровой мельницы в 45 мкм [5].

Процесс ультратонкого измельчения заключается в получении ультрамельких частиц руды. Единого стандарта для размера ультрадисперсных частиц не существует, но принято считать, что ультрадисперсные частицы металлической руды составляют менее 10 мкм, а неметаллической руды – менее 5 мкм [6].

Актуальность утилизации отвальных хвостов и хвостохранилищ заключается в следующем, что в настоящее время наблюдается общемировая тенденция – переход к «sustainable mining» (устойчивым геотехнологиям), одним из направлений которых является расширение использования техногенных отходов [7,8,].

Недавние исследования показали, что переработка отвальных хвостов является выгодной при одновременном снижении воздействия горнодобывающей промышленности [9]. Так же разработаны исследования по изучению методов обогащения, а именно флотации для переработки лежалых медных хвостов [10]. Кроме того, с экономической точки зрения переработка отходов используется как способ повышения эффективности использования ресурсов [11] или перехода к безотходному процессу.

Основной целью данной работы является изучение влияния ультратонкого измельчения в целях разработки технологии вторичной переработки лежалых хвостов Карагайлинской обогатительной фабрики с получением сырья, пригодного для дальнейшей переработки.

Материалы и методы. Объект исследования – проба лежалых отвальных хвостов Карагайлинской обогатительной фабрики, за складированных в карьере «Главный».

Вещественный состав пробы определялся масс-спектральным анализом с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), содержание золота и серебра – пробирным анализом. Согласно результатам химического анализа, содержание основных ценных компонентов составило: меди 0,23 %, серебра 8,11 г/т, золота 0,78 г/т, цинка 0,35 %, свинца 0,10 %.

Изучение рудных минералов проводилось в отраженном свете в полированных аншлифах-брикетах, с применением микроскопа OLYMPUS BX 53, видеокамеры SIMAGIS XS-3CU и программного обеспечения для анализа изображений Минерал С7 компании SIAMS.

На основании оптико-минералогических исследований установлено, что в минеральном составе пробы преобладают пороодообразующие минералы, общее содержание которых составляет 78,85 %.

Рудные минералы распределяются следующим образом:

- основной (преобладающий) – пирит (20 %);
- второстепенные – сфалерит (0,5 %), халькопирит (0,35 %);
- редкие или единичные знаки – оксиды железа (ред. зн.), ковеллин (ред. зн.), гидроокислы железа (ед. зн.), галенит (ед. зн.), блеклые руды (ред. зн.);
- минералы благородных металлов в пробе не визуализированы.

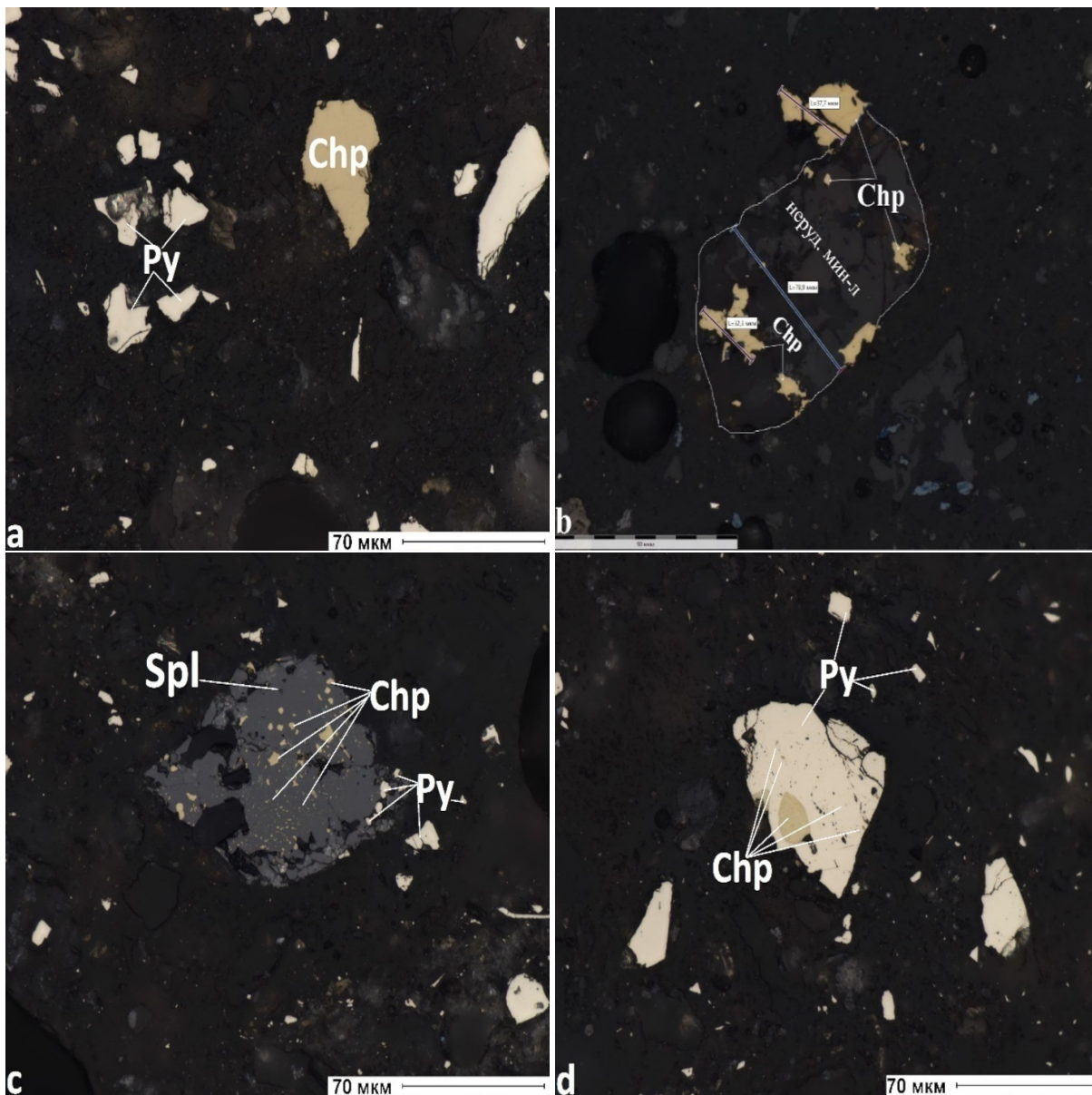
Халькопирит (0,35 % абс.) является основной минеральной формой нахождения меди в пробе. Образует как самостоятельные отдельности (см. рисунок 1а), так и сростки с нерудными минера-

лами (см. рисунок 1b), сфалеритом и пиритом. В сфалерите образует эмульсионные включения (рисунок 1c). В пирите выполняет трещинки катаклаза или встречается в виде тонких пойкилитовых включений (см. рисунок 2d), иногда в тесной ассоциации с блеклыми рудами.

Присутствие халькопирита в тесной ассоциации с пиритом, в том числе в виде тонких включений может отрицательно сказываться на показателях обогащения и на селективном выделении данных компонентов руды.

Абсолютно раскрытые зерна халькопирита составляют не более 35 % от общего количества зерен, их размер в основном (на 60 % отн.) в пределах класса 10-45 мкм.

Проведены исследования с использованием сверхтонкого измельчения в лабораторной бисерной мельнице (далее МБЛ-1) по определению кинетики измельчения исходной пробы отвалных хвостов контролем крупности исходного продукта.



Chp-халькопирит, Spl-сфалерит, Py-пирит.

Рис. 1 – Характеристика выделений халькопирита. Увел. 200/500

Известно, что использование тонкого и сверхтонкого помола продуктов, содержащих благородные металлы, значительно увеличивает извлечение золота и серебра в процессе обогащения. Но возможность моделирования процесса измельчения в непрерывном режиме для бисерной мельницы является основной проблемой на данный момент.

На рынке лабораторного оборудования представлен широкий ассортимент лабораторных бисерных мельниц, зарубежных компании, среди

разработок в России – это мельница МПБ – 1 совместного российского-казахстанского производства ТОО «SMAK Technology» и ООО БФК «Инжиниринг».

Лаборатории ООО «БФК Инжиниринг» и полупромышленные бисерные мельницы имеют возможность моделировать технологический процесс ультратонкого измельчения в поточном режиме [12].

Внешний вид мельницы показаны на рисунке 2.



Рис. 2 – Внешний вид бисерной мельницы МБЛ – 1 для сверхтонкого измельчения

Флотационное обогащение выполнялось на стандартных лабораторных пневмомеханических флотационных машинах типа Вэктис с объемом камер 3, 1.0 и 0.5 л.

Для исследования были применены следующие реагенты:

- сернистый натрий – активатор;
- ксантогенат бутиловый - собиратель;
- МИБК – пенообразователь;

Из вышеперечисленных реагентов приготавливались растворы необходимой концентрации, с пересчетом на 100 % активность, по формуле:

$$P = \frac{V \cdot C}{A};$$

где V – объем воды, мл; A – активность, %; C – концентрация реагента, д.е;

Результаты и обсуждение. Результаты определения кинетики измельчения исходной пробы хвостов с контролем крупности исходного продукта представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Кинетика измельчения отвальных хвостов обогащения

Наименование продуктов, мм	Выход, %	Содержание, %					Распределение, %				
		Cu	Fe	S	Au	Ag	Cu	Fe	S	Au	Ag
Исходная проба											
0,071	16,91	0,17	5,39	2,05	0,37	2,66	12,48	7,39	3,11	8,01	5,54
-0,071 + 0,045	14,34	0,18	11,65	10,75	0,56	5,67	11,12	13,55	13,81	10,23	10,03
-0,045 + 0,035	12,07	0,22	17,69	16,73	1,2	9,35	11,33	17,32	18,09	18,61	13,91
-0,035+0,025	11,32	0,26	20,34	19,47	1,15	10,83	12,58	18,67	19,75	16,73	15,12
-0,025+0,017	6,47	0,15	16,18	14,71	0,95	6,98	4,29	8,49	8,53	7,9	5,57
-0,017+0,008	10,52	0,15	16,71	14,88	0,98	8,63	6,89	14,26	14,03	13,21	11,19
-0,008+0,006	1,25	0,15	15,49	10,89	0,99	7,53	0,82	1,57	1,22	1,59	1,16
-0,006+0	27,12	0,34	8,53	8,83	0,68	11,21	40,49	18,75	21,46	23,72	37,48
Исходная проба	100,0	0,23	12,33	11,16	0,78	8,11	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Время измельчения 5 мин											
0,071	10,61	0,21	4,87	3,08	0,28	3,2	9,76	4,19	2,93	3,81	4,18
-0,071 + 0,045	3,14	0,47	28,11	30,14	1,76	18,34	6,47	7,16	8,48	7,09	7,1
-0,045 + 0,035	12,01	0,13	15,27	14,62	1,02	9,14	6,96	14,87	15,73	15,75	13,53
-0,035+0,025	20,7	0,2	13,43	12,7	0,8	7,71	17,56	22,54	23,56	21,11	19,68
-0,025+0,017	5,47	0,17	12,44	11,34	0,75	7,32	4,07	5,52	5,56	5,28	4,94
-0,017+0,008	10,6	0,16	11,29	10,01	0,7	6,2	7,22	9,71	9,51	9,46	8,11
-0,008+0,006	0,49	0,16	10,06	7,98	0,73	5,47	0,34	0,4	0,35	0,46	0,33
-0,006+0	36,98	0,3	11,87	10,22	0,78	9,24	47,62	35,61	33,88	37,04	42,13
Исходная проба	100,0	0,23	12,33	11,16	0,78	8,11	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Время измельчения 10 мин											
0,071	8,6	0,22	3,64	1,78	0,35	2,08	8,1	2,54	1,37	3,81	2,21
-0,071 + 0,045	2,74	0,35	20,2	20,69	2,02	12,11	4,11	4,49	5,08	7,09	4,09
-0,045 + 0,035	5,97	0,24	15,26	14,48	2,06	8,24	6,26	7,38	7,74	15,75	6,06
-0,035+0,025	15,37	0,21	14,98	14,61	1,07	8,72	14,35	18,67	20,13	21,11	16,52
-0,025+0,017	4,82	0,21	14,79	14,24	0,86	8,16	4,34	5,78	6,15	5,28	4,85
-0,017+0,008	11,42	0,17	13,15	12,28	0,65	7,39	8,6	12,18	12,56	9,46	10,4
-0,008+0,006	0,52	0,19	11,99	10,85	0,69	6,96	0,42	0,51	0,51	0,46	0,45
-0,006+0	50,56	0,24	11,81	10,25	0,57	8,89	53,82	48,45	46,46	37,04	55,42
Исходная проба	100,0	0,23	12,33	11,16	0,78	8,11	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Время измельчения 20 мин											
0,071	5,33	0,2	3,71	1,89	0,25	2,03	4,52	1,6	0,9	1,7	1,33
-0,071 + 0,045	3,07	0,37	22,43	23,69	1,52	13,17	4,9	5,58	6,51	5,97	4,98
-0,045 + 0,035	3,58	0,25	15,83	15,64	0,99	9,14	3,95	4,59	5,01	4,55	4,03
-0,035+0,025	10,02	0,21	14,78	14,45	0,97	7,93	9,12	12,01	12,97	12,47	9,8
-0,025+0,017	3,67	0,19	14,19	13,61	0,95	7,67	3,03	4,22	4,47	4,45	3,47
-0,017+0,008	9,1	0,16	12,65	11,65	0,84	6,63	6,53	9,34	9,5	9,82	7,44
-0,008+0,006	0,63	0,22	12,06	10,75	0,81	6,66	0,61	0,62	0,61	0,65	0,52

-0,006+0	64,62	0,24	11,84	10,37	0,73	8,59	67,34	62,03	60,03	60,39	68,42
Исходная проба	100,0	0,23	12,33	11,16	0,78	8,11	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Зависимость выхода класса крупности минус 0,006 мм от времени ультратонкого измельчения показан на рисунке 3.

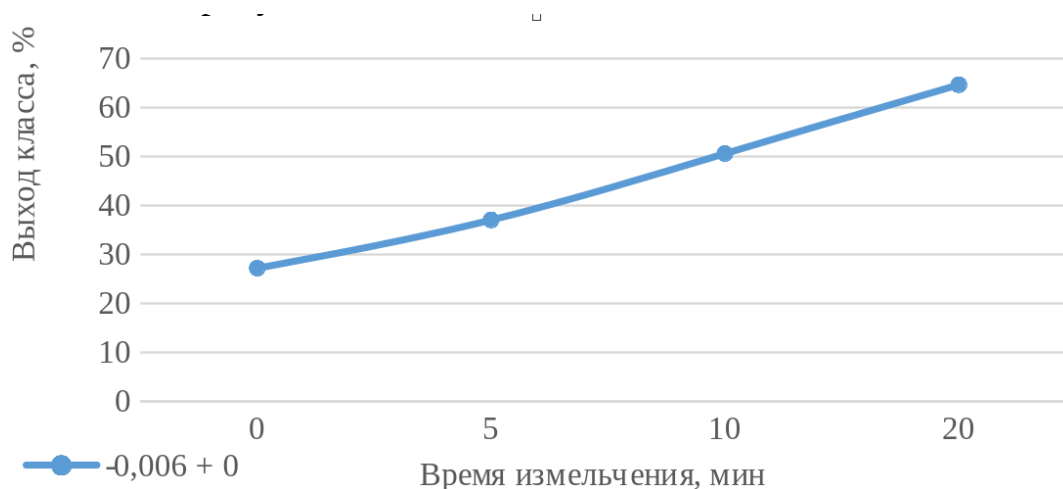


Рис. 3 – Зависимость выхода класса -0,006 мм от времени измельчения

Анализ ситовых характеристик хвостов после ультратонкого измельчения показывает, что наибольшая концентрация меди приходится на самый тонкий класс -0,006+0 мм, и повышается в зависимости от времени измельчения с 47,62 % (5 минут) до 67,34 % (20 минут), что свидетельствует о высоком раскрытии медных минералов за счет ультратонкого измельчения. Однако, увеличение выхода тонкого класса -0,006+0 мм с 27,12 % в исходных хвостах (см. таблицу 1) до 64,42 % может отрицательно сказываться на показателях обогащения, за счет ошламования процесса.

Кроме того, в тонких классах вместе с медью концентрируется и железо, что подтверждает тесную связь минералов меди с пиритом, которую не удастся разрушить даже при ультратонком измельчении.

С целью определения влияния степени ультратонкого измельчения на извлечение меди и благородных металлов выполнены флотационные тесты.

Схема проведения опыта указана на рисунке 4. Условия опытов приведены в таблице 2; результаты представлены на рисунке 5-7.

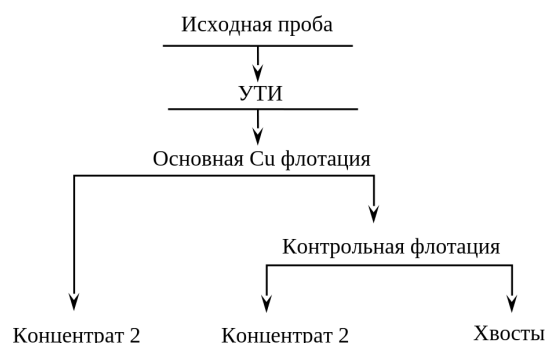


Рис. 4 – Лабораторная схема проведения опыта

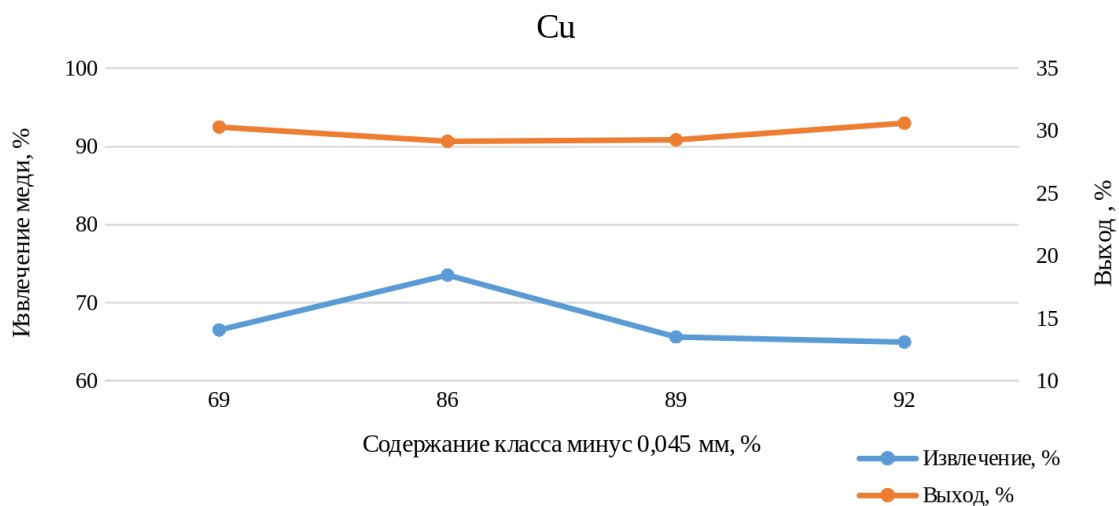


Рис. 5 - Результаты тестов по подбору степени измельчения для медных минералов

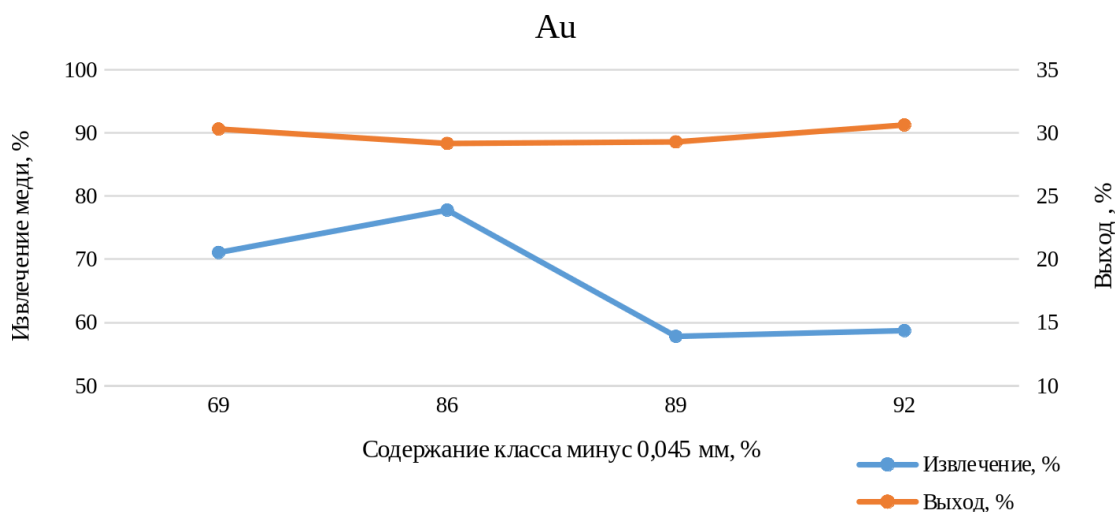


Рис. 6 - Зависимость извлечения золота от степени измельчения отвальных хвостов обогащения

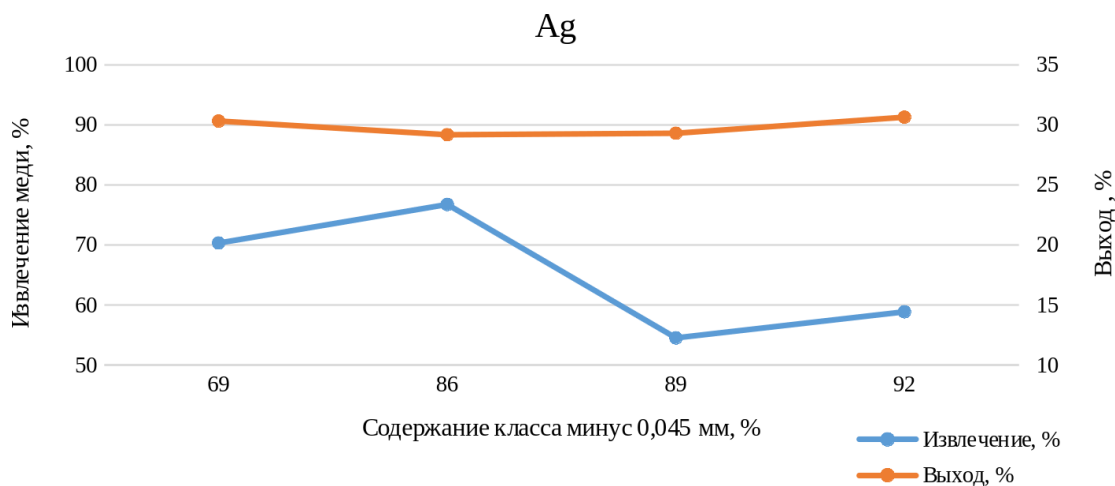


Рис.7 - Зависимость извлечения серебра от степени измельчения отвальных хвостов обогащения

Таблица 2 – Условия проведения опыта

Операция	Время, мин	рН	Расход реагентов, г/т					МИБК
			МБС	Na ₂ S	H ₂ SO ₄	Кх	Аеро 3418	
Всего:	-	-	800	150	7000	100	15	10
Измельчение, -0,045 мм	5,10,20	-	800	-	-	-	-	-
Основная Cu флотация	10	7,7	-	150	-	-	15	5
Контрольная флотация	10	3	-	-	7000	100	-	5

Из рисунков 5-7 следует, что с увеличением тонины помола по классу крупности -0,045+0 мм с 69 до 86 % наблюдается повышение извлечения меди в суммарном концентрате на 7,03 % (66,49 до 73,52 %), также повышается извлечения благородных металлов, золота на 6,71 % (71,07 до 77,78 %), серебро на 6,42 % (70,29 % до 76,71 %).

Выводы. Для расширения сырьевой базы и комплексного использования сырья Казахстана принято решение о необходимости рассмотрении возможности вторичной переработки отвальных хвостов Карагайлинской обогатительной фабрики, за складированных в карьере «Главный».

Выделение ценных компонентов из мелкозернистых руд часто достигается только после того, как размер частицы руды снижается до уровня ниже порогового значения традиционной шаровой

мельницы в - 0,045 мм.

Проведены исследования с использованием сверхтонкого измельчения в лабораторной бисерной мельнице (далее МБЛ-1) по определению кинетики измельчения исходной пробы отвальных хвостов контролем крупности исходного продукта.

Чтобы определить влияние степени сверхтонкого измельчения на извлечение меди и благородных металлов, были проведены флотационные тесты.

Из результатов представленный в графике 5-7 следует, что оптимальный тонины помола по классу крупности – 0,045 +0 мм 86 %, при это наблюдается увлечения извлечения меди в суммарной концентрат на 73,52 %, золота на 77,78 %, серебро на 76,71 %.

Литература

1. Xin Fang, Caibin Wu, Ningning Liao, Chengfang Yuan, Bin Xie, Jiaqi Tong. The first attempt of applying ceramic balls in industrial tumbling mill: A case study // Minerals Engineering. 2022. Vol. 180. DOI 10.1016/j.mineng.2022.107504
2. Jean-Paul Duroudier Size Reduction of Divided Solids // 2 - Grinding Energy. - 2016. - P. 53-72.
3. Paul Hassall, Emmanuel Nonnet, Ville Keikkala, Tarja Komminaho, Liisa Kotila. Ceramic bead behavior in ultra-fine grinding mills // Minerals Engineering. -2016. - Vol. 98. - P. 232-239.
4. Song Z.G., Corin K.C., Wiese J.G., O'Connor C.T. Effect of different grinding media composition on the flotation of a PGM ore // Minerals Engineering. -2018. - Vol. 124. -P. 74-76. DOI 10.1016/j.mineng.2018.05.014
5. Xiaolong Zhang, Yuexin Han, Yanjun Li, Wenbo Li, Jiancheng He, Jianping Jin Strengthening the flotation recovery of silver using a special ceramic-medium stirred mill // Powder Technology. -2022.- Vol. 406. DOI 10.1016/j.powtec.2022.117585
6. Caibin, W., Kuangdi, X. Ultrafine Grinding Process. In: Xu, K. (eds) The ECPH Encyclopedia of Mining and Metallurgy. -Springer, Singapore, 2023. DOI: 10.1007/978-981-19-0740-1

-
7. Tuokuu F.X., Kpinpuo S.D., Hinson R.E. Sustainable development in Ghana's gold mines: clarifying the stakeholder's perspective // *Journal of Sustainable Mining*.- 2019. -Vol. 18(2). - P. 77 - 84. DOI 10.1016/j.jsm.2019.02.007
 8. Borujeni M.P., Gitinavard H., Evaluating the sustainable mining contractor selection problems: An imprecise last aggregation preference selection index method // *Journal of Sustainable Mining*. -2017.- Vol. 16(4).- P.207 - 218. DOI 10.1016/J.JSM.2017.12.006
 9. Pier Paolo Manca, Giorgio Massacci, Davide Pintus, Giulio Sogos. The flotation of sphalerite mine tailings as a remediation method// *Minerals Engineering*. -2021. - Vol. 165. DOI 10.1016/j.mineng.2021.106862
 10. Kasongo K.B., Mwanat M. H., Ngamba Guellord , Merveille Kimpiab , K. Fabrice Kapiamba. Statistical investigation of flotation parameters for copper recovery from sulfide flotation tailings. // *Results in Engineering*. -2021. - Vol. 9. DOI 10.1016/j.rineng.2021.100207
 11. Malte Drobe, Frank Haubrich, Mariano Gajardo and Herwig Marbler. Processing Tests, Adjusted Cost Models and the Economies of Reprocessing Copper Mine Tailings in Chile. // *Metals*.- 2021. -Vol. 11. - P. 1031-1052. DOI:10.3390/met11010103
 12. Сидоров И.А., Войлошников Г.И., Рубцов П.Н., Бондарь В.В., Грицай С.Г. Испытания мельницы производства ООО «БФК Инжиниринг» для ультратонкого измельчения упорных золотосодержащих сульфидных концентратов // *Горный информационно – аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. -2015. - С. 161 – 166.

References

1. Xin Fang, Caibin Wu, Ningning Liao, Chengfang Yuan, Bin Xie, Jiaqi Tong. The first attempt of applying ceramic balls in industrial tumbling mill: A case study // *Minerals Engineering*. 2022. Volume 180. DOI: 10.1016/j.mineng.2022.107504
 2. Jean-Paul Duroudier Size Reduction of Divided Solids // 2 - *Grinding Energy*. - 2016. -P. 53-72.
 3. Paul Hassall, Emmanuel Nonnet, Ville Keikkala, Tarja Komminaho, Liisa Kotila. Ceramic bead behavior in ultra-fine grinding mills // *Minerals Engineering*. -2016. –Vol. 98. -P. 232-239.
 4. Song Z.G., Corin K.C., Wiese J.G., O'Connor C.T. Effect of different grinding media composition on the flotation of a PGM ore // *Minerals Engineering*. -2018. –Vol. 124. -P. 74-76. DOI 10.1016/j.mineng.2018.05.014
 5. Xiaolong Zhang, Yuexin Han, Yanjun Li, Wenbo Li, Jiancheng He, Jianping Jin Strengthening the flotation recovery of silver using a special ceramic-medium stirred mill // *Powder Technology*. -2022. - Vol. 406. DOI 10.1016/j.powtec.2022.117585
 6. Caibin, W., Kuangdi, X. Ultrafine Grinding Process. In: Xu, K. (eds) *The ECPH Encyclopedia of Mining and Metallurgy*. -Springer, Singapore, 2023. DOI 10.1007/978-981-19-0740-1
 7. Tuokuu F.X., Kpinpuo S.D., Hinson R.E. Sustainable development in Ghana's gold mines: clarifying the stakeholder's perspective // *Journal of Sustainable Mining*. - 2019. -Vol. 18(2). -P. 77–84. DOI: 10.1016/j.jsm.2019.02.007
 8. Borujeni M.P., Gitinavard H., Evaluating the sustainable mining contractor selection problems: An imprecise last aggregation preference selection index method // *Journal of Sustainable Mining*.- 2017. – Vol. 16(4).- P. 207–218. DOI 10.1016/J.JSM.2017.12.006
-

9. Pier Paolo Manca, Giorgio Massacci, Davide Pintus, Giulio Sogos. The flotation of sphalerite mine tailings as a remediation method// Minerals Engineering. -2021. - Vol. 165. DOI 10.1016/j.mineng.2021.106862
10. Kasongo K.B., Mwanat M. H., Ngamba Guellord , Merveille Kimpiab , K. Fabrice Kapiamba. Statistical investigation of flotation parameters for copper recovery from sulfide flotation tailings. // Results in Engineering. -2021.-Vol. 9. DOI 10.1016/j.rineng.2021.100207
11. Malte Drobe, Frank Haubrich, Mariano Gajardo and Herwig Marbler. Processing Tests, Adjusted Cost Models and the Economies of Reprocessing Copper Mine Tailings in Chile. // Metals.- 2021. -Vol. 11. - P. 1031-1052. DOI 10.3390/met11010103
12. Sidorov I.A., Voiloshnikov G.I., Rubtsov P.N., Bondar' V.V., Gritsai S.G. Ispytaniya mel'nitsy proizvodstva ООО «BFK Inzhiniring» dlya ul'tratonkogo izmel'cheniya upornykh zolotosoderzhashchikh sul'fidnykh kontsentratov // Gornyi informatsionno – analiticheskii byulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal). -2015. - S. 161 – 166. [in Russian]

Сведения об авторах

Мамбеталиева А.Р. - доктор PhD, старший преподаватель кафедры «Металлургии и обогащения полезных ископаемых» Satbayev University, Алматы, Казахстан, e-mail:

a.mambetaliyeva@satbayev.university;

Макашева Г.К. - докторант кафедры «Металлургии и обогащения полезных ископаемых» Satbayev University, Алматы, Казахстан, e-mail: mguldanka@mail.ru;

Тусупбекова Т.Ш. - докторант кафедры «Металлургии и обогащения полезных ископаемых» Satbayev University, Алматы, Казахстан, e-mail: tansholpan_87.09@mail.ru;

Макашева Г.К. - докторант кафедры «Металлургии и обогащения полезных ископаемых» Satbayev University, Алматы, Казахстан, e-mail: mguldanka@mail.ru;

Калиаскаров С.К. - инженер-исследователь ТОО «КазГидроМедь», Караганда, Казахстан, e-mail: sulya-95@mail.ru;

Сагатбек С. - магистр технических наук, инженер-исследователь ТОО «КазГидроМедь», Караганда, Казахстан, e-mail: sunkar_0396@mail.ru;

Information about the authors

Mambetaliyeva A.R. - PhD, Senior Lecturer at the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.mambetaliyeva@satbayev.university;

Tusupbekova T.Sh. - doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: tansholpan_87.09@mail.ru;

Makasheva G. K., Doctoral student of the Department of Metallurgy and Mineral Processing at Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: mguldanka@mail.ru;

Kaliaskarov S.K.-Research Engineer at Kazhydromed LLP, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: sulya-95@mail.ru;

Sagatbek S. - Master of Technical Sciences, Research Engineer at Kazhydromed LLP, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: sunkar_0396@mail.ru

ТАУ-КЕН КӘСПОРЫНДАРЫНЫҢ ЖҰМЫСКЕРЛЕРІНДЕ КӘСПТІК АУРУЛАРДЫҢ ДАМУЫНЫҢ ӨНДІРІСТІК ҚАУІП ФАКТОРЛАРЫ

**А.М. Құрманов, А.М. Рахметова✉, Э.А. Құлмағамбетова, Н.Б. Әбдрахманова,
Н.Т. Сағындықова**

Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің
Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты ШЖҚ РМК,
Астана, Қазақстан

✉ Корреспондент - автор: ra_anar@mail.ru

Мақалада кәсіптік аурулардың даму факторы ретінде тау-кен кәсіпорны қызметкерлерінің денсаулығына зиянды және қауіпті өндірістік факторлардың әсер ету проблемасының қазіргі жағдайы қарастырылған.

Салыстыру топтары ретінде өндіріс қызметкерлері мен Қосалқы персонал зерттелді, авторлар өндірістік объектілерді аттестаттау, сауалнама деректерін талдады.

Еңбек қызметі процесінде зиянды және қауіпті өндірістік-кәсіптік факторлардың тұрақты және қарқынды әсеріне ұшыраған қызметкерлердің еңбек жағдайлары кәсіптік аурулардың жоғары таралуына және даму қаупінің жоғарылауына ықпал ететіні анықталды. Өндіріс қызметкерлерінде кәсіптік аурулардың даму қаупін төмендетудің кешенді тәсілі үшін санитарлық-гигиеналық еңбек жағдайларын жақсарту, зиянды және қауіпті өндірістік факторлардың әсерінен ұжымдық және жеке қорғаныс құралдарын жетілдіру, алдын алу шараларын әзірлеу қажет.

Түйін сөздер: тау-кен кәсіпорны, зиянды, қауіпті өндірістік факторлар, кәсіптік тәуекел, кәсіптік аурулар.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ РИСКА РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У РАБОТНИКОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**А.М. Курманов, А.М. Рахметова✉, Э.А. Кульмағамбетова, Н.Б. Абдрахманова,
Н.Т. Сагиндикова**

РГП на ПХВ Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда
Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан,
Астана, Казахстан,
e-mail: ra_anar@mail.ru

В статье рассмотрено современное состояние проблемы влияния вредных и опасных производственных факторов на здоровье работников горнодобывающего предприятия, как фактор развития профессиональных заболеваний.

В качестве групп сравнения обследованы работники производства и вспомогательный персонал, авторами проанализированы данные аттестации производственных объектов, анкетирования.

Установлено, что условия труда работников, подвергающихся в процессе трудовой деятельности постоянному и интенсивному воздействию вредных и опасных производственно-профессиональных

факторов, способствуют более высокой распространённости и более высокому риску развития профессиональных заболеваний. Для комплексного подхода по снижению риска развития профессиональных заболеваний у работников производства, необходимо улучшение санитарно-гигиенических условий труда, совершенствование средств коллективной и индивидуальной защиты от воздействия вредных и опасных производственных факторов, разработка превентивных мер профилактики.

Ключевые слова: горнодобывающее предприятие, вредные, опасные производственные факторы, профессиональный риск, профессиональные заболевания.

OCCUPATIONAL RISK FACTORS FOR THE DEVELOPMENT OF OCCUPATIONAL DISEASES IN MINING WORKERS

A.M. Kurmanov, A.M. Rakhmetova✉, E.A. Kulmagambetova, N.B. Abdrakhmanova,
N.T. Sagindykova

RSE at the National Research Institute for Occupational Safety of the Ministry of Labor
and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan,

Astana, Kazakhstan,

e-mail: ra_anar@mail.ru

The article considers the current state of the problem of the influence of harmful and dangerous production factors on the health of mining enterprise workers as a factor in the development of occupational diseases.

Production workers and support staff were examined as comparison groups, the authors analyzed the data of certification of production facilities and questionnaires.

It has been established that the working conditions of workers who are exposed to constant and intense exposure to harmful and dangerous occupational factors in the course of their work contribute to a higher prevalence and a higher risk of developing occupational diseases. For an integrated approach to reduce the risk of developing occupational diseases in production workers, it is necessary to improve sanitary and hygienic working conditions, improve collective and personal protection against the effects of harmful and dangerous industrial factors, and develop preventive preventive measures.

Keywords: mining enterprise, harmful, dangerous production factors, occupational risk, occupational diseases.

Кіріспе. Қазақстанның еңбекке қабілетті халқының денсаулығын сақтау елдің табысты әлеуметтік-экономикалық дамуын қамтамасыз ету үшін аса маңызды міндет болып табылады және Қазақстан Республикасының 2024-2030 жылдарға арналған Қауіпсіз еңбек тұжырымдамасында көрініс табады [1].

Қолайсыз өндірістік факторлар кешенінің тұрақты әсеріне ұшырайтын тәуекел тобы тау-кен өнеркәсібінің жұмысшылары болып табылады [2, 3].

Тау-кен өнеркәсібі ел экономикасында жетекші орындардың бірін алады және зиянды, ауыр

және қауіпті еңбек жағдайлары бар сала болып қала береді.

Өндірістік кәсіпорындардың жұмысшыларының денсаулық жағдайының критерийлерінің бірі ретінде еңбекке қабілеттілігін уақытша жоғалтумен сырқаттанушылықты зерттеу оның деңгейі мен нақты өндірістік фактілер арасындағы байланысты орнатуға, сырқаттанушылықтың салдарынан кәсіпорындардың экономикалық залалын анықтауға және оны төмендету жөніндегі іс-шараларды әзірлеуге мүмкіндік береді [4].

Шетелдік және отандық ғалымдардың пайымдауынша, өндірістік - шартты ауруларды дамы-

тудың кәсіптік тәуекел деңгейін анықтауда гигиеналық критерийлер бойынша жұмысшылардың еңбек жағдайларын бағалау априори, алдынала және сол арқылы болжамды болып табылады және оны денсаулық жағдайының көрсеткіштері арқылы жұмысшылардың ағзасына қолайсыз кәсіптік факторлардың әсер ету қаупін постериори, түпкілікті бағалау арқылы күшейту керек. Бұл көрсеткіштерге кәсіби және кәсіби анықталған ауру, сондай-ақ олардың негізінде есептелген интегралды көрсеткіштер жатады.

Авторлардың пікірінше [5-7], тау-кен жұмысшыларының кәсіптік ауруларының дамуына әсер ететін зиянды және қауіпті өндірістік факторлар негізінен: шу, инфрақызыл, ауа ультрадыбысы; діріл (жалпы және жергілікті), негізінен фиброгендік әсер ететін аэрозольдер, химиялық фактор, еңбек процесінің ауырлығы мен шиеленісі. Тау-кен кәсіпорнында осы факторлардың төмендеуі қазіргі кездегі өзекті мәселе екені сөзсіз.

Кәсіптік аурулар - дамуында жұмыс ортасы мен еңбек процесінің зиянды және/немесе қауіпті факторларының әсерімен тікелей себепсалдарлық байланысты байқайтын аурулар [8].

Кәсіптік аурудың даму мерзімі зиянды және/немесе қауіпті өндірістік факторлар мен жұмыстардың әсер ету деңгейі мен ұзақтығына байланысты. Бұрын оларды диагностикалау ұзақ уақыт бойы еңбек қызметі кезінде аурудың сирек және спецификалық емес белгілері пайда болуымен қиындайды [3, 8].

Ресми статистиканың деректері жұмысшылардың еңбек жағдайлары мен кәсіби денсаулығының қолайсыз жағдайын көрсетеді. Соңғы жылдары ҚР-дағы еңбек гигиенасы және кәсіптік аурулар ұлттық орталығының мәліметтері бойынша тау-кен өндіру кәсіпорындарында жұмыс істейтіндердің кәсіптік сырқаттанушылығының салыстырмалы деңгейі өсуде, 2021 жылы 49,8%, 2022-52,8%, 2023-68%. 2023 жылға арналған этиологиялық принцип бойынша бастапқы кәсіптік аурулар топтары бойынша бөлу: өнеркәсіптік аэрозольдердің әсерінен туындаған аурулар -35,4%; жеке органдар мен жүйелердің функционалдық шамадан тыс жүктелуіне және шамадан тыс жүктелуіне байланысты аурулар – 49,5%, физика-

лық факторлардың әсеріне байланысты аурулар – 12,55; химиялық факторлардың әсерінен туындаған аурулар – 2,1%.

Негізінен тірек-қимыл жүйесі (36,2%), тыныс алу жүйесі (28,9%) және жүйке жүйесі (22,5%) аурулары басым болды. Кәсіптік аурулардың ең көп таралған үш нозологиялық түрі радикуллопатия (32,1%), созылмалы бронхит (27,7%) және моно-полиневропатия (15,4%) болды [9].

Тау-кен кәсіпорындарының өндірістік жағдайлары жұмыс аймағының ауасында болатын зиянды химиялық элементтер кешенінің әсерімен сипатталады, бұл жұмысшыларда патологиялық жағдайлардың, атап айтқанда тыныс алу органдарының ауруларының дамуына әкелуі мүмкін. Жер асты тау - кен жұмысшыларының кәсіби патологиясы тыныс алу жүйесі ауруларының пневмокониоздардың, жедел және созылмалы шаң бронхиттерінің үлкен таралуымен сипатталады. Бұрғылау және жару жұмыстарын жүргізу кезінде ұсақтау жұмыс аймағының ауасына (құрамында кремний диоксиді бар бейорганикалық шаң) көп мөлшерде шаңның бөлінуі байқалады. Жұмыс аймағының ауасында кездесетін негізгі заттардың арасында канцерогенді заттар бар: никель, қорғасын, формальдегид, кадмий, бензин(а)пирен. Күкірт ангидридін, никельдің, азот оксидтерінің, акролеиннің, формальдегидтің, кадмийдің, тоқтатылған заттардың тыныс алу органдарына бір бағытты әсері байқалады. Марганец, қорғасын, селен жүйке жүйесіне теріс әсер етуі мүмкін. Қан жүйесіне никель, қорғасын, көміртегі оксиді, жүрек-тамыр жүйесіне - көміртегі оксиді мен селен теріс әсер етеді. Жұмысшылардың еңбек жағдайлары тыныс алу жүйесінің кәсіби аурулары мен қатерлі ісіктердің даму қаупін тудыратын жұмыс аймағының ауасындағы химиялық заттардың қарқынды әсерімен сипатталады [10].

Көптеген жылдар бойы тау-кен жұмысшыларының кәсіби ауруы, әсіресе, осы зерттеудің мақсаты болып табылатын Тау-кен өнеркәсібіндегі маңызды медициналық, әлеуметтік және экономикалық проблема болып қала береді.

Зерттеудің мақсаты тау-кен кәсіпорнының зиянды және қауіпті өндірістік факторларының жұ-

мысшылардың денсаулығына, кәсіптік аурулардың даму қаупіне әсер ету ерекшеліктерін зерттеу болды.

Материалдар мен әдістер. Өндірістік объектілерді аттестаттау деректері зерттелді, өндіріс қызметкерлеріне сауалнама жүргізілді және талданды. Салыстырудың екі тобы ретінде тау-кен кәсіпорнының өндірістік және қосалқы қызметкерлерінің қызметкерлері зерттелді.

74 жұмысшының еңбек жағдайларына бағалау жүргізілді, оның ішінде жерасты жұмыстарымен айналысатындар 67,6 % (50 бірлік), автокөлік кәсіпорнында - 18,2 % (14 бірлік), ашық аумақтағы жұмыстар - 8,8 % (6 бірлік) және биіктіктегі жұмыстар - 5,4 % (4 бірлік). Еңбек жағдайларын бағалау оның ауырлығы мен шиеленісін, жұмыс орындарының микроклиматының параметрлерін, физикалық және химиялық факторлардың әсер ету сипатын ескере отырып жүргізілді.

Кен орнының негізгі аймағын өнеркәсіптік игеру 2023 жылғы 1 қаңтарда басталды. Құрамында мыс, күміс, молибден және селен сияқты элементтер бар кенді өндіру және байыту бойынша.

Нәтижелер және талқылау. Кәсіпорындағы кәсіптік тәуекелдің құрылымы мен дәрежесін талдау көптеген кәсіптердегі еңбек жағдайларын зиянды деп бағалауға мүмкіндік берді, ал өткізгіштерде, жол жұмысшыларында, бұрғылаушыларда, бұрғылаушылар мен жарылғыштардың көмекшісінде-қауіпті (тау жыныстарының құлауы, тастар, құлау, үйінділер, электр тогының соғуы, жарылыс, шаң).

Профилактикалық іс-шаралар кешенін жоспарлау кезінде еңбек жағдайларына байланысты, оның ішінде осы өндіріс үшін Нақты химиялық фактордың болуына байланысты аурулар тобын анықтаған жөн. Априорлық кәсіптік тәуекелді сипаттайтын зияндылық пен қауіптің жоғары дәрежесі тау-кен кәсіпорны қызметкерлерінің денсаулығы үшін кәсіптік қауіптің жоғары деңгейін болжауға мүмкіндік береді.

Ақпаратқа сүйене отырып, жұмыс орындарын аттестациялау деректерінің талдауынан өндірістік орта жұмысшыларға теріс әсер ететін химиялық факторлар кешенінің болуымен сипатталады (1-кесте).

1-кесте. Жұмысшылардың денсаулығына әсер ететін химиялық факторлар тізімі

п/п	Заттың атауы	Қауіптілік класы	Жұмысшы денсаулығына теріс әсері
1	Темір оксиді (II, III)	3	Сидероз (пневмокониоз)
2	Марганец және оның қосылыстары	2	Аллергенді. мутагендік әсер
3	Фторлы газ тәрізді қосылыстар	2	Қаңқа сүйектерінің қалыптасуы мен өсуінің бұзылуы
4	Хром (VI) оксиді /хром бойынша есептегенде	1	Демікпе, дерматит, аллергиялық реакциялар, мутациялар
5	Қалайы оксиді	3	Пневмокониоз
6	Қорғасын және оның қосылыстары	1	Анемия, гипертензия, бүйрек жеткіліксіздігі, иммундық және репродуктивті жүйеге уытты әсер
7	Азот (IV)диоксиді	2	Өкпе ісінуі, жүйке аурулары
9	Фторидтер нашар еритін бейорганикалық	2	Қаңқа сүйектерінің қалыптасуы мен өсуінің бұзылуы
10	Бейорганикалық шаң (кремний диоксиді)	3	Силикоз

11	Диметилбензол	3	Жүрек-қан тамырлар органдарының созылмалы зақымдануы, жүйке жүйесінің жұмысындағы бұзылулар, тері реакциялары, астма
12	Көміртек оксиді	4	Иммунологиялық белсенділіктің төмендеуі, жоғарылауы қандағы қант мөлшері, жүрекке оттегінің берілуін әлсіретеді.
13	Метилбензол	3	Асма, химиялық бронхит, пневмония, өкпе ісінуі
14	Бутан-1-ол	3	Көз ауруы (конъюнктивит, кератит), ОЖЖ
15	Этанол	4	Онкологиялық, жүрек-қан тамырлары ауруы, эндокриндік аурулар
16	2-этоксиданол (этил эфирі)	-	Бронхит, өкпенің қабынуы, бронх-өкпе жүйесінің созылмалы аурулары, нейрорсихикалық аурулар, энцелофатия, уытты гепатит және т. б.
17	Бутил ацетат	3	Орталық жүйке жүйесі жүрек-тамыр жүйесі, бауыр, бүйректің уытты құбылыстары
18	Пропан-2-он (ацетон)	4	Тұншығу, мидағы тыныс алу орталығының сал ауруы, мидың токсикалық ісінуі, өкпе ісінуі
19	Уайт-спирит	-	Дерматит, экзема
20	Көмірсутектер C12-C19	4	Тыныс алу орталықтарының сал ауруы, орталық жүйке жүйесі
21	Кальций дигидроксиді	3	Жоғарғы тыныс жолдарының тітіркенуі, көздің, терінің, асқазан-ішек жолдарының зақымдалуы
22	Күкірт диоксиді	3	B1, B12 дәрумендеріне жойқын әсер етеді.
23	Күйе	3	Мутагендік және канцерогендік әсер
24	Керосин	-	Күйік, улану.

1-кестенің деректері негізінде 4-қауіптілік класына мыналар жатады: көмірсутектер C₁₂-C₁₉, пропан-2-он (ацетон), этанол, көміртегі оксиді және т. б., олар жұмысшылардың ағзасына уытты әсерімен сипатталады, иммунологиялық белсенділіктің төмендеуіне, қандағы қант мөлшерінің жоғарылауына әкеледі, жүрекке оттегінің берілуін әлсіретеді, онкологиялық, жүрек-тамыр жүйесі, эндокриндік аурулар. Ұзақ уақыт әсер еткенде тұншығу, мидағы тыныс алу орталы-

ғының параличі, мидың токсикалық ісінуі, өкпе ісінуі пайда болады.

Кестедегі мәліметтерге сәйкес 3-қауіптілік класына - темір оксиді, қалайы оксиді, бейорганикалық шаң, диметилбензол, метилбензол, бутан, бутил ацетаты, кальций дигидроксиді, күкірт диоксиді, күйе жатады. Бұл химиялық заттар пневмокониоз, силикоз, сондай-ақ жүрек-қан тамырлар органдарының созылмалы зақымдануы, жүйке жүйесінің бұзылуы, тері реакциялары, астма,

созылмалы бронхит, өкпе ісінуі және т. б. сияқты кәсіби ауруларға әкеледі.

Зерттеу нәтижелерінің деректеріне сәйкес 2-қауіптілік класы мыналарды сипаттайды: марганец және оның қосылыстары, фторлы қосылыстар, аллергенді және мутагендік әсері бар азот диоксиді, қаңқа сүйектерінің қалыптасуы мен өсуінің бұзылуын тудырады және т. б.

Осылайша, кәсіпорынның өндірістік жағдайлары жұмыс аймағының ауасында болатын зиянды химиялық элементтер кешенінің әсерімен сипатталады, бұл қызметкерлерде патологиялық

жағдайлардың, кәсіптік аурулардың дамуына әкелуі мүмкін.

Сауалнама деректерін талдау кезінде барлық бөлімшелерде жұмыс істейтіндердің жас-еңбек өтілінің құрамы нақты айырмашылықтар болмағаны және 35 жыл, ал көмекші персонал үшін - 40,5 жыл болғандығы анықталды. Өндірістік персонал үшін орташа жұмыс өтілі - 8,6 жыл, ал қосалқы персонал үшін - 11 жыл болды (2-кесте).

2 кестеде жұмыс істейтіндерді мамандық бойынша бөлу көрсетілген

2-кесте. Жұмысшыларды мамандық бойынша бөлу

Кәсіпорынның функционалдық құрылымы (ауысымда жұмыс істейтіндердің жалпы саны -74)					
Өндірістік персонал (n=68)				Көмекші персонал (n=6)	
№	Мамандықтар	абс.	%	абс.	%
1	Жол-сапар жұмысшысы (4)	4	5,88		
2	Сорғы қондырғыларының машинисі (4)	4	5,88		
3	Үңгуші (10)	10	14,73		
4	Тиеу-жеткізу машинасының машинисі (14)	14	20,59		
5	Бұрғылаушы (5)	5	7,35		
6	Бұрғылаушының көмекшісі (5)	5	7,35		
7	Электр дәнекерлеуші	1	1,47		
8	Электромонтер (2)	2	2,94		
9	Электрослесарь-монтажшы (2)	2	2,94		
10	Өздігінен жүретін жерасты машиналарының машинисі (2)	2	2,94		
11	Өздігінен жүретін жерасты машиналарының машинисі көтергіш (2)	2	2,94		
12	Жанар-жағармай материалдарын жеткізу машинисі (2)	2	2,94		
13	Тау-кен жұмысшысы	1	1,47		
14	Жарылғыш материалдарды таратушы (2)	2	2,94		
15	Жерасты тау-кен жұмысшысы (жарылғыш материалдарды жеткізу бойынша) (2)	2	2,94		
16	Ұсатқыш (1)	1	1,47		
17	Радиометрист - зертханашы (1)	1	1,47		
18	Маркшейдерлік жұмыстардағы тау-кен жұмысшысы (1)	1	1,47		
19	Жерасты өздігінен жүретін машинасының жүргізушісі	1	1,47		
20	Бас маркшейдер (1)	1	1,47		

21	Жарғыш (5)	5	7,35		
22	Тау шебері (1)			1	6
23	Бас энергетик			1	6
24	Энергетик			1	6
25	Механик			1	6
26	Учаске шебері (1)			1	6
27	Бас механик (1)			1	6

2-кестенің деректері негізінде кәсіпорынның функционалдық құрылымы үрлегіштерден (14,73), тиеу-жеткізу машинасының машинисінен (20,59%), бұрғылаушы мен бұрғылаушының көмекшісінен (тиісінше 7,35%), жол-сапар жұмысшысынан, сорғы қондырғыларының машинисінен (тиісінше 5,88%), электромонтерден, электр слесарь-монтаждаушыдан, өздігінен жүретін жерасты машинисінен тұрады машиналарды көтергіш, жерасты өздігінен жүретін машинасының жүргізушісі, жарылғыш материалдарды таратушы, жерасты тау-кен жұмысшысы (тиісінше 2,94% - дан), сондай-ақ тау-кен жұмысшылары, маркшейдерлік жұмыстардағы тау-кен жұмысшылары, ұсатқыштар, радиометрист зертханашы, жерасты өздігінен жүретін машинасының жүргізушілері, негізгі маркшейдерлер мен жарылғыштар (сәйкесінше 1,47%).

Жұмыс орындарындағы еңбек жағдайларын бағалау кезінде көбінесе өндірістік орта факторларының аралас және аралас әсері байқалады, сондықтан өндірістік персоналдың жұмысшылары басым зиянды өндірістік факторларды ескере отырып, 6 топқа бөлінді.

1-ші топқа 3.3–3.4 еңбек жағдайларының сыныптарына сәйкес келетін гигиеналық критерийлер бойынша жоғары кәсіби тәуекелі бар адамдар кірді: үңгуші, тиеу-жеткізу машиналарының машинистері, бұрғылау қондырғысының машинистері, экскаватор машинистері, тау-кен массасын жою машинистері, ұсатқыштар.

Осы топтағы жұмысшылардың еңбек жағдайларының ерекшелігі зиянды және қауіпті факторлар кешенінің бірлескен әсері болып табылады: аралас діріл; шу (тұрақты емес), спектрде төмен және орташа жиілікті компоненттер басым; дененің мәжбүрлі жағдайы, жүйке-бұлшықет кер-

неуі; шаңның жоғарылауы; газдың жоғарылауы; қолайсыз микроклиматтық жағдайларда жұмыс істеу; еңбек процесінің ауырлығы мен шиеленісі де гигиеналық тұрғыдан маңызды. Еңбек ауырлығы перфораторларда, бұрғылау қондырғыларында, тиеу - жеткізу машиналарында жұмыс істеуге байланысты, еңбек процесінің шиеленісі ауысымда 12 сағатты құрайды.

Шаң факторы 20-дан 70% - ға дейінгі шаңда (оның ішінде мыс, күміс, селен, молибден және т.б.) SiO₂ құрамындағы негізінен фиброгендік әсер ететін аэрозольдерден тұратын күрделі химиялық құрамдағы шаңмен ұсынылған. Негізгі көздері бөлінетін зиянды газдар болып табылады жару жұмыстары, жұмыс істейтін автокөлік, процестер тотығу және жану пайдалы, сондай-ақ зиянды газдардың бөлінуін жыныстардан және межпластовых суларды. Ішкі жану қозғалтқыштарының жұмысына байланысты пайдаланылған газдардың жекелеген, неғұрлым гигиеналық маңызды компоненттері шекті рұқсат етілген концентрациядан асатын мөлшерде анықталады.

2-ші топқа ауыр жүк көліктерінің жүргізушілері, бульдозеристер кірді. Еңбек жағдайлары аралас әсермен сипатталады: Жалпы және жергілікті діріл (3.1–3.2 класс), тұрақты емес тербелмелі шу (3.1 класс), сенсорлық және эмоционалдық жүктемелер орын алады, құрамында кремний диоксиді (кен) бар Бейорганикалық шаңның және дизель отынының жану өнімдерінің газдарының концентрациясы шекті рұқсат етілген концентрациядан аспайды.

3-ші топқа шаң, шу және қолайсыз микроклимат сияқты факторлардың басым әсеріне ұшыраған жұмысшылар кірді. Бұл топтың жұмысшыларының арасында гигиеналық критерийлер бой-

ынша еңбек жағдайларының 3.1–3.3 сыныптарына сәйкес келетін өте жоғары (тау-кен кенжарлары) немесе жоғары (жарылғыш заттар, бекіткіштер) кәсіби тәуекелі бар кәсіби топтар бар.

4-ші топтың жұмысшылары үшін (сорғы қондырғысының машинистері, тау-кен жабдықтарын жөндеу және техникалық қызмет көрсету слесарлары) физикалық жүктеме мен дірілмен үйлескен технологиялық жабдықтың кең жолақты шуының басым әсері тән (3.2-3.3 класс).

5-ші топты электр-газбен дәнекерлеушілер құрады, олардың еңбек жағдайлары өндірістік факторлар кешенінің әсерімен сипатталады: дәнекерлеу аэрозольінің және негізінен фиброгендік әсер ететін аэрозольдің құрамына кіретін марганец, темір, көміртек, азот қосылыстары; қолайсыз микроклимат, физикалық шамадан тыс кернеу, шу. Жұмыс аймағының ауасындағы марганец қосылыстарының құрамы $0,2 \text{ мг/м}^3$ шекті рұқсат етілген концентрациядан кезінде $0,25 \text{ мг/м}^3$ дейін құрайды (3.1-3.2 класс).

6-топ жұмысшылары үшін (электр дәнекерлеушілер мен электр слесарлары) кернеуі 42 В және одан жоғары электр қондырғыларына қызмет көрсету және жөндеу кезінде электромагниттік өрістер мен сәулеленулер, биіктікте жұмыс істеу тән өндірістік факторлар болып табылады. Сонымен қатар, жұмыс жабдықтың жұмыс режиміне жауапкершілікпен байланысты еңбек процесінің жүйке-эмоционалды күйзелісімен сипатталады.

Осылайша, тау-кен өндірісінің күрделілігі, бір-бірінен едәуір алыс орналасқан жұмыс орындарының жерасты орналасуы, табиғи және техникалық қауіп факторларының пайда болуы, жұмыс орындары мен еңбек жағдайларының үнемі өзгеруі-бұл еңбек қызметі процесінде зиянды және қауіпті өндірістік және қауіпті жағдайлардың тұрақты және қарқынды әсеріне ұшырайтын жұмысшылардың еңбек жағдайлары мен қауіпсіздігіне әсер ететін барлық факторлар. -кәсіби факторлардың жоғары таралуына және кәсіби аурулардың даму қауіпінің жоғарылауына ықпал етеді.

Қорытынды. Жабық кеніштерде жоғары

өнімді тау-кен жабдықтарын пайдалану жағдайында жетекші кәсіптердің қызметкерлеріне ауысым кезінде ауырлығы өзгеруі мүмкін және көбінесе рұқсат етілген шекті мөлшерден асатын өндірістік факторлар кешені (шаң, газдану, шу, діріл, қолайсыз микроклимат, еңбек процесінің ауырлығы мен шиеленісі) әсер етеді. Осы өндірістің жұмыс орындарындағы еңбек жағдайларын жалпы бағалау кезінде зияндылықтың әр түрлі дәрежесі бар және 4 класы бар қауіптіліктің 3 класы белгіленді.

Мәндері гигиеналық нормаларға сәйкес келмейтін анықталған зиянды өндірістік факторлардың қатарына мыналар жатады: шу (тексерілгендердің 85,3%), өндірістік діріл (89,7%), шаңдану (92,7%), газдану (86,8%), электромагниттік сәулелену (85,3%), жоғары және төмен температура (тиісінше 5,9 және 7,4%), биіктікте жұмыс істеу (5,9%). (68 қызметкер), сондай-ақ жерасты жұмысшыларында, бұрғылаушыларда, сорғы қондырғыларының жүргізушілері мен машинистерінде еңбек процесінің ауырлығы (52,9%), бұл тірек-қимыл аппаратының, тыныс алу, жүрек-тамыр жүйесінің ауруларына, ОЖЖ, бауыр, бүйрек, эндокриндік, онкологиялық және мутагендік аурулардың уытты зақымдалуына әкелуі мүмкін.

Зерттеудің алынған нәтижелерін ескере отырып, зиянды және қауіпті өндірістік факторлардың әсерін азайту және еңбек жағдайларын жақсарту үшін мынадай ұсынымдарды көздеу ұсынылады: өндірістегі кәсіптік тәуекелдерді төмендету жөніндегі алдын алу шараларын ұйымдастыру, еңбек қауіпсіздігі нормаларының, қағидалары мен стандарттарының талаптарын сақтауды қамтамасыз ету.

Мақалада «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК-ның ғылыми-зерттеу жұмыстарын бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру шеңберінде «Еңбек жағдайлары және кәсіптік тәуекелдер: «жасыл экономикаға» көшу шеңберіндегі жіктеу, санаттар және топтастыру өлшемшарттары» (ЖТН BR22182667) тақырып бойынша ғылыми-

техникалық бағдарламаны іске асыру барысында алынған ғылыми зерттеулердің нәтижелері ұсынылған.

Әдебиеттер

1. 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/kaz/docs/P2300001182>
2. Жеглова А.В. Системный подход к управлению профессиональным риском нарушений здоровья работников горнорудной промышленности. Автореф. дисс. докт. мед. наук-Москва.- 2009.- 44 с.
3. Куликов А.С. Оценка влияния вредных и опасных производственных факторов на развитие профессиональных заболеваний на горнодобывающих предприятиях /Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» No6/2020.-С124-128
4. Д. С. Абитаев, Н. Ж. Ердесов, Б. С. Жумалиев, Т. Ф. Машина, Б. Серик, М. Г. Калишев, Н. Шинтаева, С. Р. Жакенова Профессиональные риски и состояние здоровья лиц, работающих в горнорудной промышленности центрального Казахстана /Экология и гигиена. 2020. №2 – С. 41-457. URI: <http://repoz.kgmu.kz/handle/123456789/496>
5. Коршунов Г.И., Черкай З.Н., Мухина Н.В., Гридина Е.Б., Скударнов С.М. Профессиональные болезни рабочих в горнодобывающей промышленности. С-1-6. <https://cyberleninka.ru/article/n/professionalnye-bolezni-rabochih-v-gornodobyvayuschey-promyshlennosti/viewer>
6. Siti N. E. I. Azizan R. Investigate the factors affecting safety culture in the Malaysian mining industry Resources Policy Volume 85, Part A, August 2023, 103930 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103930>
7. Donoghue, A. M. (2004). Occupational health hazards in mining: an overview. Occupational Medicine, 54(5), 283–289. doi:10.1093/occmed/kqh072
8. Профессиональная патология: национальное руководство / Под ред. Н.Ф. Измерова. - М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011.-С. 144-153. ISBN 13: 978-5-9704-1947-2
9. Горбанев С.А., Сюрин С.А., Фролова Н.М. Условия труда и профессиональная патология горняков угольных шахт в Арктике. Медицина труда и промышленная экология 2019 (8). -С. 452-457. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-8-452-457>
10. Фадеев А.Г., Горяев Д.В., Шур П.З., Зайцева Н.В., Фокин В.А., Редько С.В. Вредные вещества в воздухе рабочей зоны горнодобывающего сектора металлургической промышленности как факторы риска для здоровья работников (аналитический обзор)/ Анализ риска здоровью. – 2024. – № 2. – С. 153-161. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.14

References

1. Qazaqstan Respyblikasy Úkimetiniń 2023 jylǵy 28 jeltoqsandaǵy № 1182 Qaýlysy Qazaqstan Respyblikasynyń 2024 – 2030 jyldarǵa arnalǵan Qaýıpsız eńbek tuǵyrymdamasyn bekitý týraly. URL: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2300001182> [in Kazakh]
2. Zheglova A.V. Sistemnyı podhod k upravleniju professional'nyim riskom narusheniı zdorov'ja rabotnikov gornorudnoı promyshlennosti. Avtoref. diss. dokt. med. nauk-Moskva.- 2009.- 44 s. [in Russian]
3. Kulikov A.S. Ocenka vlijanija vrednyh i opasnyh proizvodstvennyh faktorov na razvitie professional'nyh zabolevanij na gornodobyvajushhijh predprijatijah /Nauchno-obrazovatel'nyı zhurnal dlja studentov i

prepodavateleĭ «StudNet» No6/2020.-S124-128 [in Russian]

4. D. S. Abitaev, N. Zh. Erdesov, B. S. Zhumaliev, T. F. Mashina, B. Serik, M. G. Kalishev, N. Shintaeva, S. R. Zhakenova Professional'nye riski i sostojanie zdorov'ja lic, rabotajushhih v gornorudnoj promyshlennosti central'nogo Kazahstana /Jekologija i gigena. 2020. №2 – S. 41-457. URI:

<http://repoz.kgmu.kz/handle/123456789/496> [in Russian]

5. Korshunov G.I., Cherkaĭ Z.N., Muhina N.V., Gridina E.B., Skudarnov S.M. Professional'nye bolezni rabochih v gornodobyvajushhej promyshlennosti. S-1-6. <https://cyberleninka.ru/article/n/professionalnye-bolezni-rabochih-v-gornodobyvayuschej-promyshlennosti/viewer> [in Russian]

6. Siti N. E. I. Azizan R. Investigate the factors affecting safety culture in the Malaysian mining industry Resources Policy Volume 85, Part A, August 2023, 103930 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103930>

7. Donoghue, A. M. (2004). Occupational health hazards in mining: an overview. Occupational Medicine, 54(5), 283–289. doi:10.1093/occmed/kqh072

8. Professional'naja patologija: nacional'noe rukovodstvo / Pod red. N.F. Izmerova. - M.: GJeOTAR-Media, 2011.-S. 144-153. ISBN 13: 978-5-9704-1947-2 [in Russian]

9. Gorbanev S.A., Sjurin S.A., Frolova N.M. Usloviya truda i professional'naja patologija gornjakov ugol'nyh shaht v Arktike. Medicina truda i promyshlennaja jekologija 2019 (8). -S. 452-457.

<https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-8-452-457> [in Russian]

10. Fadeev A.G., Gorjaev D.V., Shur P.Z., Zajceva N.V., Fokin V.A., Red'ko S.V. Vrednye veshhestva v vozduhe rabochej zony gornodobyvajushhego sektora metallurgicheskoy promyshlennosti kak faktory riska dlja zdorov'ja rabotnikov (analiticheskij obzor)/ Analiz riska zdorov'ju. – 2024. – № 2. – S. 153-161. DOI: 10.21668/health.risk/2024.2.14 [in Russian]

Авторлар туралы мәліметтер

Құрманов А. М. - экономия ғылымдарының кандидаты, Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК (ҚР ЕХӘҚМ РҒЗИ) бас директоры, Астана., Қазақстан, e-mail: rniiot@rniiot.kz;

Рахметова А.М. - медицина ғылымдарының кандидаты, доцент, биомониторинг және еңбек гигиенасы бөлімінің басшысы, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Құлмағамбетова Э.А. - химия ғылымдарының кандидаты, биомониторинг және еңбек гигиенасы бөлімінің жетекші ғылыми қызметкері, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан, e-mail: elya_kulmagambet@mail.ru;

Әбдрахманова Н.Б. - тіршілік қауіпсіздігі және қоршаған ортаны қорғау ғылымдарының магистрі, биомониторинг және еңбек гигиенасы бөлімінің аға ғылыми қызметкері, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан, e-mail: nazgul122@mail.ru;

Сагиндиқова Н.Т. - техника және технология ғылымдарының магистрі, биомониторинг және еңбек гигиенасы бөлімінің аға ғылыми қызметкері, «Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты» ШЖҚ РМК, Астана, Қазақстан, e-mail: nursag79@mail.ru.

Information about authors

Kurmanov A.M. - Ph.D. in Economics, General Director of the RNIOT of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: rniiot@rniiot.kz;

Rakhmetova A.M. - Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Biomonitoring and Occupational Hygiene of the RRIOSH of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: ra_anar@mail.ru;

Kulmagambetova E. A. - Ph.D. - 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;

Abdrakhmanova N.B. - Master's Degree in Life Safety and Environmental Protection, Senior Researcher at the Department of Biomonitoring and Occupational Hygiene of the Research Institute of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: nazgul122@mail.ru;

Sagindikova N. T. - Master of Engineering and Technology, Senior Researcher at the Department of Biomonitoring and Occupational Hygiene of the Research Institute of the Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan, e-mail: nursag79@mail.ru.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВЫРАБОТКИ ЗАПАСОВ НЕФТИ ИЗ ПЛАСТОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ СЕВЕРНАЯ ТРУВА

Т.С. Кайменова✉, Г.Т. Космбаева, А.Т. Отарбаева, А. Мерекеқызы

Актюбинский региональный университет им.К. Жубанова, Актөбе, Казахстан

✉Корреспондент-автор: kaynenova83@mail.ru

Эффективность систем разработки нефтяных месторождений во многом определяется всеми возможными методами разработки промышленных нефтяных запасов, характером добычи. Рост темпов производства, высокий спрос на нефтепродукты, требуют полного извлечения нефти из недр. Основной целью исследования является анализ состояния добычи запасов нефти на месторождении Северная Трува путем выявления проблем, возникающих при добыче запасов нефти в продуктивных пластах, повышения интенсивности добычи нефти, анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований. При разведке и исследовании запасов нефти и газа важна производительность слоя, поскольку физическая среда слоя изменяется с каждой полученной молекулой в процессе добычи, чем дольше слой работает, тем точнее прогноз остальных запасов. В ходе исследования изучаются особенности геологического строения нефтяных месторождений, изучается влияние на гидродинамические процессы в них, проводится работа по обоснованию геологических и профессиональных критериев, определяющих эффективное развитие.

В статье изучается метод совершенствования методов оценки эксплуатационных параметров и обоснования конструктивных особенностей завершения при вскрытии капитально построенных месторождений. Предусматривается увеличение добычи нефтяных запасов капитально построенных месторождений путем обоснования технологических параметров эксплуатации скважин.

Ключевые слова: Запас нефти, пласт, скважина, дебит нефти, газовый фактор, фонтанирование, механизирование.

СОЛТҮСТІК ТРУВА КЕН ОРНЫНДАҒЫ ҚАБАТТАРДАН МҰНАЙ ҚОРЛАРЫН ӨНДІРУ ЖАҒДАЙЫН ТАЛДАУ

Т.С. Кайменова✉, Г.Т. Космбаева, А.Т. Отарбаева, А. Мерекеқызы

Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан,

e-mail: kaynenova83@mail.ru

Мұнай кен орындарын игеру жүйелерінің тиімділігі көбінесе өнеркәсіптік мұнай қорларын игерудің барлық мүмкін әдістерімен, өндіріс сипатымен анықталады. Өндіріс қарқынының өсуі, мұнай өнімдеріне жоғары сұраныс жер қойнауынан мұнайды толық алуды талап етеді. Зерттеудің негізгі мақсаты өнімді қабаттардағы мұнай қорларын өндіру кезінде туындайтын проблемаларды анықтау, мұнай өндіру қарқындылығын арттыру, теориялық және эксперименттік зерттеулердің нәтижелерін талдау арқылы Солтүстік Трува кен орнындағы мұнай қорларын өндіру жағдайын талдау болып табылады. Мұнай мен газ қорларын барлау және зерттеу кезінде қабаттың өнімділігі маңызды, өйткені қабаттың физикалық ортасы өндіру процесінде алынған әрбір молекуламен өзгереді, қабат неғұрлым ұзақ жұмыс істесе, қалған қорлардың болжамы соғұрлым дәл болады. Зерттеу барысында мұнай кен орындарының геологиялық құрылымының ерекшеліктері зерттеледі, олардағы гидродинамикалық

процестерге әсері зерттеледі, тиімді дамуды анықтайтын геологиялық және кәсіби критерийлерді негіздеу бойынша жұмыс жүргізіледі.

Мақалада күрделі салынған кен орындарын ашу кезінде пайдалану параметрлерін бағалау әдістерін жетілдіру және аяқталудың құрылымдық ерекшеліктерін негіздеу әдісі зерттеледі. Ұңғымаларды пайдаланудың технологиялық параметрлерін негіздеу арқылы күрделі салынған кен орындарының мұнай қорларын өндіруді ұлғайту көзделеді.

Түйін сөздер: мұнай қоры, қабат, ұңғыма, мұнай дебиті, газ факторы, фонтандау, механикаландырылған.

ANALYSIS OF THE STATE OF PRODUCTION OF OIL RESERVES FROM RESERVOIRS AT THE NORTH TRUVA FIELD

T.S. Kainenova✉, G.T. Kosmbayeva, A.T. Otarbayeva, A. Merekeqyzy

Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan,

e-mail: kaynenova83@mail.ru

The effectiveness of oil field development systems is largely determined by all possible methods of developing industrial oil reserves and the nature of production. The growth of production rates, high demand for petroleum products, require the complete extraction of oil from the subsoil. The main purpose of the study is to analyze the state of oil reserves production at the Severnaya Truva field by identifying problems that arise during the extraction of oil reserves in productive formations, increasing the intensity of oil production, analyzing the results of theoretical and experimental studies. In the exploration and exploration of oil and gas reserves, the productivity of the layer is important, since the physical environment of the layer changes with each molecule obtained during the extraction process, the longer the layer works, the more accurate the forecast of the remaining reserves. In the course of the study, the features of the geological structure of oil fields are studied, the influence on hydrodynamic processes in them is studied, work is being carried out to substantiate geological and professional criteria that determine effective development.

The article examines the method of improving the methods of evaluating operational parameters and substantiating the design features of completion during the opening of capital-built deposits. It is envisaged to increase the production of oil reserves of capital-built fields by substantiating the technological parameters of well operation.

Keywords: Oil reserve, reservoir, well, oil flow rate, gas factor, gushing, mechanization.

Введение. Актуальность темы исследования ”Анализ состояния выработки запасов нефти из пластов на месторождении Северная Трува” обусловлена несколькими ключевыми аспектами. Во-первых, развитие современных нефтяных месторождений требует полного извлечения нефти из недр, что является актуальной задачей в условиях роста потребления и высокой востребованности нефтепродуктов на мировом рынке. Эффективность разработки месторождений напрямую зависит от применения оптимальных мето-

дов добычи и управления пластовыми системами, что требует глубокого анализа текущих процессов и параметров эксплуатации.

Во-вторых, особенности геологического строения и гидродинамических процессов в пластах месторождения Северная Трува требуют точного прогноза оставшихся запасов нефти и выбора эффективных технологических решений для максимизации коэффициента извлечения. Исследование направлено на выявление и устранение проблем, возникающих в ходе эксплуатации сква-

жин, что способствует повышению интенсивности добычи и более рациональному использованию ресурсов.

Таким образом, тема исследования имеет высокую практическую значимость, так как результаты анализа могут быть использованы для улучшения методов разработки нефтяных месторождений, повышения производительности и устойчивости нефтедобычи в долгосрочной перспективе [1,2].

Научная новизна исследования заключается в проведении детального анализа состояния разработки нефтяных запасов на месторождении Северная Трува с акцентом на геологические и гидродинамические особенности пластов, что позволяет выявить ключевые проблемы и предложить способы их решения. Исследование направлено на усовершенствование методов оценки эксплуатационных параметров и обоснование конструктивных решений для повышения эффективности извлечения нефти. Новизна также заключается в разработке рекомендаций по интенсификации добычи нефти, учитывая особенности эксплуатации скважин и изменения физических свойств пластов в процессе их разработки, что ранее не получало достаточного внимания. Предложенные методы позволяют оптимизировать работу существующих и новых скважин, а также улучшить управление газовым фактором и водоотбором, что способствует более полному извлечению углеводородов из недр.

Модель месторождения Северная Трува основывалась на результатах интерпретации трехмерных сейсмических материалов, отобранных Даганским филиалом института при геофизической компании «Восток» и данных бурения 55 скважин. По этим данным структура Северная Трува по кровле карбонатных толщ КТ-I и КТ-II представляла собой пологую широкую брахиантиклиналь северо-восточного простирания, ограниченную с юго-востока региональным разломом F. Площадь структуры Северная Трува значительно увеличивается в юго-западном и северном направлениях. Тектоническая схема подсолевых отложений Восточной части Прикаспийской впадины (Рисунок 1) [3].

К основным технологическим факторам, влияющим на показатели нефтедобычи резервуаров, относятся параметры сети добывающих скважин, основная схема системы затопления, темпы развита, отбор нагнетательной жидкости, технология откачки воды и условия развития прилегающих пластов, характер вскрытия продуктивных пластов в скважинах. Исследование влияние обводнения продуктивных слоев на полноту добычи, в зависимости от степени охвата как по площади объекта разработки, так и с точки зрения рубок, характера перекачиваемой воды и смещения пласта. Поэтому при геологическом и профессиональном анализе необходимо уделять основное внимание особенностям движения воды по продуктивным слоям под влиянием перекачки воды. К числу геологических и физических факторов, влияющих на процесс слоистого затопления, относятся фильтрующие свойства продуктивных слоев, их неоднородные свойства и степень их неоднородности, вязкостные свойства насыщенных слоев и перекачиваемых в них жидкостей [4,5].

Материалы и методы. Нефтяные запасы можно оценить по динамике интенсивности добычи, коэффициенту текущей подачи нефти и количеству перекачиваемой воды. Темпы отбора нефти и текущая нефтеотдача анализируются в динамике по годам развития производства и да-те анализа. Эти показатели определяются для месторождений в целом и для отдельных районов, блоков, участков и пластов разработки в зависимости от их первоначальных балансовых запасов [6].

Добыча нефтяных запасов также характеризуется темпами добычи нефти из первичных извлекаемых запасов нефти и текущей передачей нефти. Балансовые запасы нефти часто используются при попытке избежать ошибок в определении запасов нефти, а также при сравнительном анализе с другими месторождениями.

Месторождение Северная Трува в административном отношении расположено на территории Муголжарского района Актюбинской области Республики Казахстан.

Нефтегазоносность месторождения связана с

отложениями двух карбонатных толщ. Продуктивные пласты месторождения Северная трува приурочены к средне-нижнему карбону регионально - нефтегазоносному комплексу пород,

представленному двумя мощными толщами карбонатов (КТ-I и КТ-II), сложенных из известняка и доломитов [7].

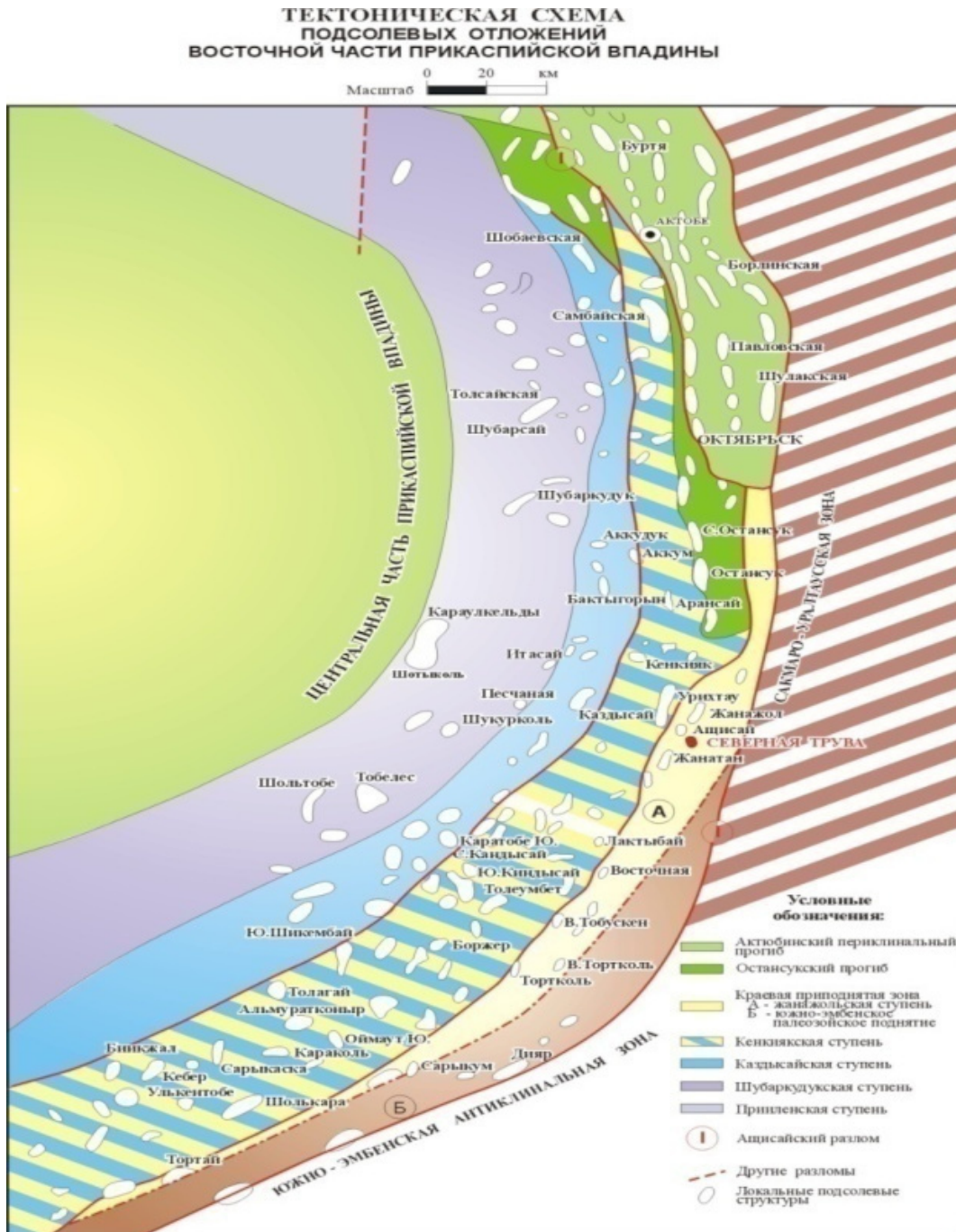


Рис. 1 - Тектоническая схема подсолевых отложений Восточной части Прикаспийской впадины

В эксплуатационном фонде месторождения Северная Трува добывающих скважин находится 164 ед., в том числе 150 действующих, 12 в

бездействии, 1 ед. в освоении и 1 ед. в ожидании освоения после бурения. Скважины добывающего фонда эксплуатируются механизированным и

фонтанным способами.

С последнего проектного документа «Дополнение к технологической схеме разработки...» (2015г) на месторождении введены из бурения 38 новых скважин, из них 3 оценочные скважины, 1 скважина находится в освоении после бурения, 1 скважина в ожидании освоения:

- Пачка А – 7 скважин;
- Пачки А+Б – 3 скважин;
- Пачка Гв– 10 скважин;
- Пачки Гв+Гн– 6 скважин;
- Пачка Гн – 7 скважин.

I объект КТ-1 (А+Б)

В эксплуатационном фонде добывающих скважин числятся 101ед, а т.ч. действующие 90, в бездействии 11 скважин. Все скважины кроме скважин №СТ-24, 484, которые эксплуатируются УЭЦН, работают фонтанным способом эксплуатации. В освоении после бурения находится одна скважина. 6 скважин эксплуатируются совместно на пачках А+Б.

II объект – КТ-2 (Гв+Гн)

Фонд добывающих скважин составил 63 ед., из них 60 ед. действующие, скважина №5597 числится в бездействии, скважина №8106 находится в освоении после бурения и скважина №5633 в ожидании освоения. Также 5 скважин находятся в консервации.

В целом добывающий фонд эксплуатируется фонтанным и механизированным способами. 59 скважин работают фонтанным способом, 1 скважина (№7615) газлифтным и 2 скважины (№№7674,7708) НДГ. В целом скважины размещены равномерно по пачкам.

За отчетный период из бурения в эксплуатацию введено 22 добывающих (1 находится в освоении после бурения, 1 в ожидании освоения после бурения) и 3 нагнетательных скважин (№№5575, 5617, 5623). Одна добывающая скважина (СТ-15) была переведена с Юбъекта. 34 добывающих скважин были переведены в нагнетательный фонд. Стоит заметить, что фонд нагнетательных скважин увеличился в основном за счёт перевода скважин из добывающего фонда [2,3].

Результаты и обсуждение. Для оценки эффективности реализуемой системы разработки месторождения и выработки на этой основе рекомендаций по совершенствованию системы разработки проведен анализ основных технологических показателей работы скважин [8].

Нефтяная группа определялась на основе трех параметров - воды, хлористых солей и механических примесей в пробах.

По средним значениям, нефти толщ КТ-I и КТ-II классифицируются как малосернистые и сернистые и принадлежат первому и второму классам. По среднему значению нефть толщи КТ-I относится к третьей группе: с содержанием хлористых солей – 209.2 мг/дм³, - воды – 1.04 мас.%, - механических примесей не выше нормы. Нефти толщи КТ-II условно относятся к третьей группе: с содержанием хлористых солей – 641.7 мг/дм³, - воды – 2.00 мас.% (выше нормы) - механических примесей в норме. При этом в общей массе анализов фиксируются пробы, принадлежащие к первой, второй и третьей группам. По ряду проб зафиксированы аномальные содержания солей (до 3426 мг/дм³) и воды (8.8 мас.%), которые не укладываются в рамки стандарта классификации [9].

Потенциал продуктивного горизонта зависит от литологического состава породы, эффективной мощности пласта, коллекторских свойств (объёма порового пространства), степени нефте- и (или) газонасыщения, величины вязкости флюида и термобарических условий, а также от способов и интенсивности физико-химических методов воздействия на пласт при разработке месторождения с целью повышения его нефте- и (или) газоотдачи. Продуктивный горизонт является основным объектом подсчёта запасов нефти и газа. На месторождении Северная Трува пористость вычисляется путем построения кросс-плотов по данным литолого-плотностного каротажа, компенсированного нейтронного каротажа, акустического каротажа определяется общая пористость, эффективная пористость выделенных пластов-коллекторов [10].

Верхняя карбонатная толща КТ-I, с которой связана газоконденсатнонефтяная залежь, в стратиграфическом отношении приурочена к отложе-

ниям касимовско-гжельского возраста.

Нижняя карбонатная толща КТ-II, содержащая газонефтеконденсатную залежь, приурочена к от-

ложениям верейско-каширского возраста. Коллекторские и физико-химические свойства продуктивных горизонтов указано в таблицах 1 и 2 [11].

Таблица 1 - Физико-химическая характеристика нефти

Объект	Содержание серы	Плотность нефти	Содержание парафинов
КТ-I	до 0,88%	от 807,0 до 849,0 кг/м ³	от 1,67 до 5,20 %
КТ-II	от 0,01 до 1,46%	от 801,1 до 899,0 кг/м ³	от 1,93 до 4,10 %

Таблица 2 - Коллекторские свойства продуктивных горизонтов

Объект	Абсолютная глубина	Породы	Общая средняя толщина пласта	Пористость	Проницаемость
КТ-I	2095 – 2510м	известняки, доломиты, с прослойками терригенных, преимущественно аргиллитовых пород	466м	15,19%	34,02 мД
КТ-II	2843 – 3021м	известняки с прослоями зеленовато-серых аргиллитов и доломитов	320м	12%	56,6 мД

Таблица 3- Динамика распределения действующего фонда по дебитам нефти по объектам на 01.01.2022 г

Объект		КТ-1	КТ-2	Месторождение	
Фонд скважин		90	60	150	
Средний дебит нефти		8,6	20,9	13,5	
Диапазон изменения дебитов нефти, т/сут	q≤5	Кол-во	52	9	61
		%	57,8	15	40,7
	5<q≤10	Кол-во	12	6	18
		%	13,3	10	12,0
	10<q≤25	Кол-во	17	23	40
		%	18,9	38,3	26,7
	25<q≤50	Кол-во	8	17	25
		%	8,9	28,3	16,7
	50≥q	Кол-во	1	5	6
		%	1,1	8,3	4,0

Анализ текущих среднесуточных показателей работы скважин и динамика распределения действующего фонда по дебитам нефти показана в таблице 3. Согласно проведенному распре-

лению фонда добывающих скважин по дебитам нефти большая часть скважин работает с дебитами до 5 т/сут – 40,7% от действующего фонда скважин месторождения и большинство из них

эксплуатируются на I объекте, доля которых там составляет 57,2%, тогда как их доля на Побъекте не превышает 15%. Однако стоит учитывать, что значительная часть из данных скважин работают периодически. Скважины со средним дебитом от 10 до 25т/сут занимают 26% всего действующего фонда. Также к скважинам со сравнительно высоким дебитом от 25 т/сут относится 20,7% действующего фонда, большинство из которых эксплуатируются на Побъекте. Остальные 12% скважин на месторождении эксплуатируются с дебитом от 5 до 10т/сут. Из данного распределения скважин по дебитам, можно сделать вывод, что скважины Побъекта характеризуются более высокими дебитами по сравнению с I объектом [2,3].

Интенсификация отборов нефти на месторождении сопровождается высокими показателями газового фактора по I и II объекту, который на дату отчета по составил 964 и 985 м³/т объектам соответственно.

Как видно из таблицы 4 по распределению

газового фактора видно, что наибольшая часть скважин по объектам и соответственно по всему месторождению (84%) работают с показателями по газовому фактору от 900 до 1000 м³/т. Со значениями газового фактора менее 900м³/т и в диапазоне от 1000 до 1100 м³/т эксплуатируются оставшиеся 16 % действующего фонда добывающих скважин месторождения.

Высокий газовый фактор по некоторым скважинам обусловлен возможным дегазацией скважин, ак как наблюдается падения пластового давления ниже давления насыщения. По данному фонду рекомендуется перевести скважины в бездействия или перевести на более щадящий режим разработки, с проведением периодических ГДИС, с целью прослеживания динамики восстановления пластового давления. Прорыв из газовой шапки возможен, однако перфорация скважин не охватывает интервалы насыщенности газа, рекомендуется провести ГИС исследования по определению текущего положения насыщения.

Таблица 4 - Динамика распределения фонда скважин по газовому фактору

Объект		КТ-1	КТ-2	Месторождение	
Фонд скважин		90	60	150	
Средний газовый фактор		964,4	984,9	972,6	
Диапазон изменения газового фактора, м3/т	ГФ≤800	Кол-во	3	1	4
		%	3,3	1,7	2,7
	800<ГФ≤900	Кол-во	11	1	12
		%	12,2	1,7	8
	900<ГФ≤1000	Кол-во	71	55	126
		%	78,9	91,7	84
	1000<ГФ≤1100	Кол-во	5	3	8
		%	5,6	5	5,3
	1100<ГФ	Кол-во	0	0	0
		%	0,0	0,0	0,0

В целом по месторождению высокий коэффициент эксплуатации и в среднем составил 0,98 доли единиц: по I объекту 0,98 доли ед. и по II объекту 0,97доли единиц.

Касательно коэффициента использования фонда. Данный показатель по месторождению составляет 0,91. Основная доли низкого коэффи-

циента использования сосредоточена на I объекте разработки, где находится основной фонд действующих скважин по причине проведения ГТМ. По II объекту коэффициент использования фонда ближе единице и составляет 0,95 доли единиц. По данному объекту всего одна скважина находится в бездействии [3,5].

Анализ эксплуатации скважин, устьевого и внутрискважинного оборудования

Для герметизации устья скважин и разобщения межтрубного пространства между НКТ и эксплуатационной колонны, направления продукции скважины в систему сбора, а также регулирования режима работы скважины на устье скважин установлены фонтанные арматуры *KYS35/80-65-1 (КНР)*, рассчитанные на рабочее давление 35 МПа, с условным проходом стволовой части ёлки 80 мм и боковых отводов 65 мм. В фонтанную арматуру входят колонная головка, трубная головка и фонтанная ёлка [12,13].

Арматура изготовлена в антикоррозионном исполнении для среды, содержащей H_2S и CO_2 .

Изменение режима работы скважины осуществляется с помощью штуцеров, установленных на боковых отводах фонтанной ёлки, на I объекте штуцеры изменяются от 3 до 20мм, на II

объекте от 3 до 25мм.

Фонтанная ёлка имеет по два запорных устройства на каждый отвод (один рабочий, другой запасной) которые рассчитаны на рабочее давление 35 МПа. Диаметр боковых отводов может быть увеличен с учетом применения в системе сбора шлейфа большего диаметра. Боковые выкиды арматуры оборудованы штуцеродержателями для установки штуцеров и фонтанными клапанами или дроссельными устройствами.

Внутрискважинное оборудование

Подземное оборудование (ПО) скважин позволяет осуществлять эксплуатацию скважины на установленном технологическом режиме, освоение, исследование и остановку скважины без заправки её жидкостью, воздействие на призабойную зону пласта с целью интенсификации притока к скважине, а также защиту скважины от открытого фонтанирования.

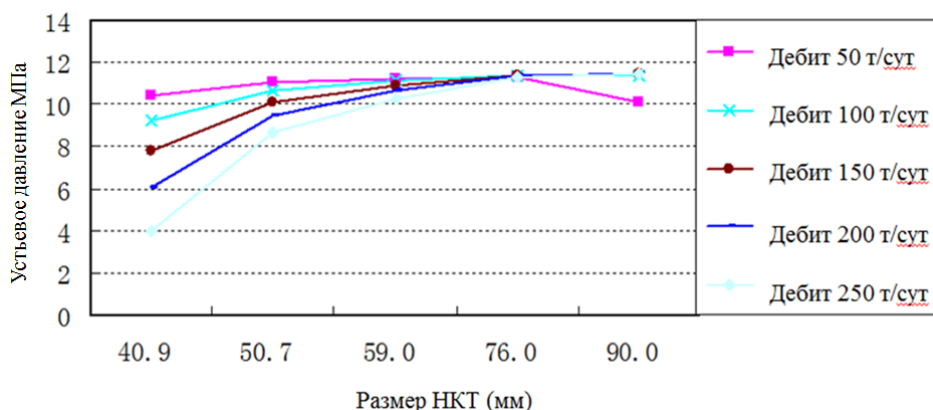


Рис. 2 - Зависимость устьевого давления от диаметра НКТ (КТ-I)

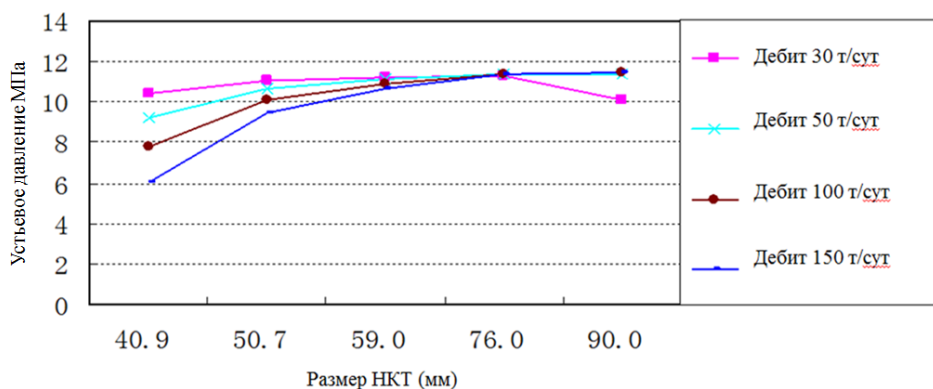


Рис. 3 - Зависимость устьевого давления от диаметра НКТ (КТ-II)

Внутрискважинное оборудование фонтанных скважин состоит из двухступенчатого подъемника, составленного из насосно-компрессорных труб (НКТ) с наружными диаметрами 73 мм и 88,9 мм, что является рациональным в условиях эксплуатации месторождения. НКТ Ø89,9 имеет толщину 6,45мм, Ø73 мм- 7,01 мм.

Для надёжной эксплуатации скважин нефтегазоконденсатного месторождения исходя из условий эксплуатации, используется следующее подземное оборудование:

- насосно-компрессорные трубы;
- разобцитель (пакер);
- клапан-отсекатель для автоматического закрытия центрального канала скважины;
- башмак колонны НКТ оборудован воронкой в нижней части, которые спущены в эксплуатационную колонну диаметром 168,3 и 177,8 мм.

Фонтанная арматура скважин соединяется с промышленными коммуникациями сбора пластовой жидкости с помощью манифольда, служащего для подключения к трубному и затрубному пространствам агрегатов для проведения различных операций при пуске и эксплуатации скважины.

Выбор НКТ Ø89 и Ø73 мм основан на удовлетворении требованиям при КГРП.

В нефтяной залежи КТ-I используется комбинированная колонна (Ø89 и Ø73 мм), в которой НКТ Ø89 мм (толщина 6,45 мм) будет иметь длину до 500 м. В нефтяной залежи КТ-II также используется комбинированная колонна, в которой НКТ Ø89 мм (толщина 6,45 мм), будет длиной 500 м-1000м.

Для обеспечения поддержания высокого устьевого давления при фонтанной эксплуатации необходим правильный выбор диаметра НКТ. Проведенные расчеты (Рисунок 2 и 3) определяют использование на месторождении Северная Трува комбинированных НКТ Ø88,9 мм (толщина 6,45мм) и Ø73 мм (толщина 7,01мм) [14].

Выводы. На основании расчетов, были определены минимальные давления, обводненность и другие факторы, при которых скважины прекращают фонтанирование, что позволяет прогнозировать количество скважин и время перевода скважин на механизированный способ добычи.

Минимальное устьевое давление прекращения фонтанирования составляет 2 МПа, при этом среднее пластовое давление по I объекту составляет 21 МПа, среднесуточный дебит скважин – 100 м³/сут, обводненность – 2,8%, газовый фактор – 242,8 м³/м³. Согласно проведенным расчетам в 2021г пластовое давление снизится до 18,8 МПа. Затем панируется рост пластового давления до 20 МПа, обусловленное влиянием реализации полномасштабной системы ППД закачкой воды.

По мере повышения объема закачиваемой воды обводненность постепенно увеличивается, и в 2030г обводненность достигнет 81,2 %. По прогнозу в 2012г в толще КТ-I начнется прекращение фонтанирования, 2023 - 2030г являются пиком прекращения фонтанирования, после 2030г основная доля фонда скважин переводится на механизированный способ эксплуатации.

Среднее пластовое давление по II объекту составляет 29,4 МПа, среднесуточный дебит скважин – 48 м³/сут, обводненность – 3,9 %, газовый фактор – 454 м³/м³. До 2022г согласно выполненным расчетам пластовое давление будет снижаться до 26,6 МПа, в 2022г, за счет полномасштабного внедрения системы ППД, наблюдается стабилизация снижения пластового давления до 2029 года, далее наблюдается тенденция снижения.

По мере повышения объема закачиваемой воды обводненность продукции постепенно увеличивается, и в 2030г обводненность продукции достигнет 88,9%. По прогнозу в 2012г в толще КТ-II начнется прекращение фонтанирования скважин, 2019-2030г являются пиком прекращения фонтанирования скважин, после 2030г основная доля фонда скважин переводится на механизированный способ эксплуатации.

Литература

-
1. В.Н. Бабашев, А.К. Габбасова и др. «Дополнение №1 к проекту оценочных работ на месторождении Северная Трува»: Отчет, - Алматы: 2015. URL: [file:///C:/Users/User/Downloads/PDF%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/PDF%20(2).pdf)
 2. Отчет «СНПС Актобемунайгаз», 2023. URL: http://www.cnpc-amg.kz/?p=senm_11
 3. Групповой технический проект на строительство скважин № 7764, 7804, 829, 538, N828, 595 месторождения Северная Трува. -Актобе, 2021. URL: https://www.gov.kz/uploads/2021/12/22/1f923b8735e172674f2771b9b2b72159_original.1330537.pdf
 4. Джиембаева, К.И., Ахмеджанов Т.К., М. К. Сакиев М.К. Техника и технология добычи нефти: учебное пособие, - Алматы: Экономика, 2011. -300 с. ISBN 978-601-225-279-8.
 5. Арбузов В.Н. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. Часть 1: учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2011. -200 с.
 6. Покрепин Б.В., Гумаров Г.С, Нугманов М.А. Добыча нефти и газа: учебное пособие. – Астана: Фолиант, 2011.-392 с. (Профессиональное образование) ISBN 978-601-292-338-4
 7. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти - Москва: Издательский центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015. - 448 с. ISBN 978-5-91961-145-5
 8. Лалазарян Н.В. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. Учебное пособие. - Алматы: КазНТУ, 2008 – 140 с. ISBN 978-601-228-026-5
 9. Воцалевский Э.С., Даукеев С.Ж., Коломиец В.П., Комаров В.П., Парагульгов Х.Х., Пилифосов В.М., Шлыгин Д.А., С.Ж. Даукеев. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана //Нефть и газ. -Алматы, 2002.- Т. III. -248 с. ISBN 9965-13-760-9.
 10. М.Н. Персиянцев. Добыча нефти в осложненных условиях. -М.:Недра, 2000. -653 с. ISBN 5-8365-0052-5.
 11. Газизов А.А. Увеличение нефтеотдачи неоднородных пластов на поздней стадии разработки. –М.: ООО Недра-бизнесцентр, 2002. -639 с. ISBN 5-8365-0119-Х.
 12. Методические указания по геолого-промысловому анализу разработки нефтяных и газонефтяных месторождений (РД 153-39.0-110-01). -Типография ”Наука”, 121099, Москва,2001. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293816/4293816261.pdf>
 13. Федорова К.В., Кривова Н.Р, Колесник С.В., Решетникова Д.С. Анализ состояния выработки запасов нефти из пластов покурской свиты // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений.- 2014. - № 11.- С. 54-58. ISSN 0234-1581
 14. Аржиловский А.В., Гусева Д.Н. Сравнение методов анализ выработки остаточных запасов // Нефтепромысловое дело. -2016. -№ 10. - С. 14-19. ISSN 0207-2351.

References

1. V.N. Babashev, A.K. Gabbasova i dr. «Dopolnenie №1 k proektu ocenochnyh rabot na mestorozhdenii Severnaja Truva»: Otchet, - Almaty: 2015.
URL: [file:///C:/Users/User/Downloads/PDF%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/PDF%20(2).pdf) [in Russian]
 2. Otchet «SNPS Aktobemunajgaz», 2023. URL: http://www.cnpc-amg.kz/?p=senm_11 [in Russian]
 3. Gruppovoj tehnicheskij proekt na stroitel'stvo skvazhin № 7764, 7804, 829, 538, N828, 595 mestorozhdenija Severnaja Truva. -Aktobe, 2021. URL: https://www.gov.kz/uploads/2021/12/22/1f923b8735e172674f2771b9b2b72159_original.1330537.pdf [in Russian]
-

4. Dzhimbaeva, K.I., Ahmedzhanov T.K., M. K. Sakiev M.K. Tehnika i tehnologija dobychi nefiti: uchebnoe posobie, - Almaty: Jekonomika, 2011. -300 s. ISBN 978-601-225-279-8. [in Russian]
5. Arbuzov V.N. Jekspluatacija nefitjanyh i gazovyh skvazhin. Chast' 1: uchebnoe posobie. – Tomsk: TPU, 2011. -200 s. [in Russian]
6. Pokrepin B.V., Gumarov G.S, Nugmanov M.A. Dobycha nefiti i gaza: uchebnoe posobie. – Astana: Foliant, 2011.-392 s. (Professional'noe obrazovanie) ISBN 978-601-292-338-4. [in Russian]
7. Mishhenko I.T. Skvazhinnaja dobycha nefiti - Moskva: Izdatel'skij centr RGU nefiti i gaza im. I.M. Gubkina, 2015. -448 s. ISBN 978-5-91961-145-5. [in Russian]
8. Lalazarjan N.V. Jekspluatacija nefitjanyh i gazovyh skvazhin. Uchebnoe posobie. - Almaty: KazNTU, 2008 - 140 s. ISBN 978-601-228-026-5. [in Russian]
9. Vocalevskij Je.S., Daukeev S.Zh., Kolomic V.P., Komarov V.P., Paragul'gov H.H., Pilifosov V.M., Shlygin D.A., S.Zh. Daukeev. Glubinnoe stroenie i mineral'nye resursy Kazahstana //Nefit' i gaz. -Almaty, 2002.- T. III. -248 s. ISBN: 9965-13-760-9. [in Russian]
10. M.N. Persijancev. Dobycha nefiti v oslozhnennyh usloviyah. -M.:Nedra, 2000. -653 s. ISBN: 5-8365-0052-5. [in Russian]
11. Gazizov A.A. Uvelichenie nefteotdachi neodnorodnyh plastov na pozdnej stadii razpabotki. –M.: OOO Nedra-biznescentr, 2002. -639 s. ISBN 5-8365-0119-X. [in Russian]
12. Metodicheskie ukazaniya po geologo-promyslovomu analizu razrabotki nefitjanyh i gazoneftjanyh mestorozhdenij (RD 153-39.0-110-01). -Tipografija "Nauka", 121099, Moskva,2001.
<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293816/4293816261.pdf> [in Russian]
13. Fedorova K.V., Krivova N.R, Kolesnik S.V., Reshetnikova D.S. Analiz sostojaniya vyrabotki zapasov nefiti iz plastov pokurskoj svity // Geologija, geofizika i razrabotka nefitjanyh i gazovyh mestorozhdenij. -2014.- № 11.- S. 54-58. ISSN 0234-1581 [in Russian]
14. Arzhilovskij A.V., Guseva D.N. Sravnenie metodov analiz vyrabotki ostatochnyh zapasov // Neftepromyslovoe delo. -2016. -№ 10. - S. 14-19. ISSN 0207-2351. [in Russian]

Сведения об авторах

Кайменова Т.С. - магистр, старший преподаватель, Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, Актобе, Казахстан, e-mail: kaynenova83@mail.ru;

Космбаева Г.Т. - старший преподаватель кафедры «Нефтегазовое дело» Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан, e-mail: gulzhank_67@mail.ru;

Отарбаева А.Т. - магистр, преподаватель кафедры «Нефтегазовое дело», Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан, e-mail: ainaerlan1984@mail.ru;

Мерекекызы А. - старший преподаватель кафедры «Нефтегазовое дело» Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан, e-mail: ardak.merekekyzy@mail.ru.

Information about the authors

Kainenova T.S. - Master of Technical Sciences, senior Lecturer, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Kazakhstan. e-mail: kaynenova83@mail.ru;

Kosmbayeva G.T. - Senior Lecturer, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Kazakhstan. e-mail: gulzhank_67@mail.ru;

Otarbayeva A.T. - Master of Technical Sciences, Lecturer, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Kazakhstan. e-mail: ainaerlan1984@mail.ru;

Merekeqyzy A. - Senior Lecturer, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Kazakhstan.
e-mail: ardak.merekekyzy@mail.ru.

ENSURING RELIABLE AND SAFE OIL STORAGE IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

¹N.T. Smailova✉, ²A.Y. Popov¹ Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,² Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

✉Correspondent-author: ganibek2006@mail.ru

The article highlights the issue of possible construction of the first large oil storage facility in the history of Kazakhstan. Construction of large oil storage facilities in Kazakhstan is an important step to ensure efficient storage and management of oil products in the country, solving the problem of redistribution and storage of oil products, given the dynamics of production and consumption growth in the country. Construction of a large oil storage facility in Atyrau region, as well as oil depots in the west of Kazakhstan, will optimize the processes of transportation and storage of oil products, reduce the cost of renting other people's storage facilities and ensure the sustainability and reliability of oil products supplies to both domestic and foreign markets. The article considers such important aspects as the need for storage of oil products, technical and environmental aspects of construction, as well as economic and social feasibility. In addition, the article presents a system analysis and study of the potential for construction of a large oil storage facility in Kazakhstan, which makes it significant and relevant in the context of the development of the country's oil and gas industry. Given the current global challenges, such as oil production limitations and volatility of oil and oil products markets, the strategic reserve becomes even more relevant.

Keywords: hydrocarbon feedstock, storage of petroleum products, strategic reserve, provision of domestic needs.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА МҰНАЙДЫҢ СЕΝІМДІ ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗ САҚТАЛУЫН
ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ¹Н.Т. Смайлова✉, ²А.Ю. Попов¹ Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,²Омбы мемлекеттік техникалық университеті, Омбы, Ресей,

email: ganibek2006@mail.ru

Мақалада Қазақстан тарихындағы алғашқы ірі мұнай қоймасын салу мүмкіндігі туралы мәселе көтерілген. Қазақстанда ірі мұнай қоймаларының құрылысы республикада мұнай өнімдерін тиімді сақтау мен басқаруды қамтамасыз ету, мұнай өнімдерін қайта бөлу және сақтау мәселесін шешу, мұнай өнімдерін өндіру мен тұтынудың өсу динамикасын ескере отырып, маңызды қадам болып табылады. Атырау облысында ірі мұнай сақтау қоймасының, сондай-ақ Қазақстанның батысындағы мұнай базаларының құрылысы мұнай өнімдерін тасымалдау және сақтау процестерін оңтайландыруға, шетелдік қоймаларды жалға алу құнын төмендетуге және жеткізілімдердің тұрақтылығы мен сенімділігін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді және мұнай өнімдерін ішкі және сыртқы нарыққа шығару. Мақалада мұнай өнімдерін сақтау қажеттілігі, құрылыстың техникалық және экологиялық аспектілері, сондай-ақ экономикалық және әлеуметтік орындылығы сияқты маңызды аспектілер қарастырылады. Сонымен қатар, мақалада Қазақстандағы ірі мұнай қоймасын салу әлеуетін жүйелі талдау және зерделеу ұсынылған, бұл оны еліміздің мұнай-газ саласын дамыту контекстінде маңызды

және өзекті етеді. Мұнай өндіруді шектеу және мұнай мен мұнай өнімдері нарығындағы құбылмалылық сияқты ағымдағы жаһандық сын-қатерлерді ескере отырып, стратегиялық резерв бұрынғыдан да өзекті бола түседі.

Түйін сөздер: көмірсутегі шикізаты, мұнай өнімдерін сақтау, стратегиялық резерв, ішкі қажеттіліктерді қамтамасыз ету.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОГО И БЕЗОПАСНОГО ХРАНЕНИЯ НЕФТИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

¹Н.Т.Смайлова✉, ²А.Ю.Попов

¹Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова,
г. Астана, Казахстан,

²Омский государственный технический университет, г.Омск, Россия,
email: ganibek2006@mail.ru

В статье освещается вопрос возможного строительства первого в истории Казахстана крупного нефтехранилища. Строительство крупных нефтехранилищ в Казахстане представляет собой важный шаг для обеспечения эффективного хранения и управления нефтепродуктами в стране, решение проблемы перераспределения и хранения нефтепродуктов, учитывая динамику роста производства и потребления в стране. Строительство крупного нефтехранилища в Атырауской области, а также нефтебаз на западе Казахстана, позволит оптимизировать процессы транспортировки и хранения нефтепродуктов, снизить затраты на аренду чужих хранилищ и обеспечить устойчивость и надежность поставок нефтепродуктов как на внутренний, так и на внешний рынки. В статье рассматриваются такие важные аспекты, как потребность в хранении нефтепродуктов, технические и экологические аспекты строительства, а также экономическая и социальная целесообразность. Кроме того, в статье представлен системный анализ и исследование потенциала строительства крупного нефтехранилища в Казахстане, что делает ее значимой и актуальной в контексте развития нефтегазовой отрасли страны. Учитывая текущие глобальные вызовы, такие как ограничения добычи нефти и волатильность рынков нефти и нефтепродуктов, стратегический резерв становится еще более актуальным.

Ключевые слова: углеводородное сырье, хранение нефтепродуктов, стратегический резерв, обеспечение внутренних потребностей.

Introduction. Kasym-Jomart Tokayev called one of the most urgent tasks to increase the capacity of oil storage facilities, as producers are forced to immediately send raw materials for export, as it is required by technology. In this regard, the President instructed to consider the construction of a large oil storage facility taking into account environmental requirements. [1]

The oil and gas sector deals with all aspects of the extraction, production, transportation and use of oil. This sector plays a key role in the world economy as oil is a potential source of energy used in various industries. [2]

Kazakhstan exports oil in unrefined form and then imports petroleum products, this results in loss of value added and reduced economic efficiency.

To address this problem, a number of factors need to be considered:

- Production structure:

Determining the optimal oil transportation and refining scheme depends on the specifics of the fields and infrastructure in the production regions. Some fields may be more favorable for direct on-site refining and storage, while for others it may make more sense to export crude oil.

- Technological Capabilities:

Assess technological opportunities for domestic crude oil storage and refining. The feasibility of oil storage facilities, the capacity of refineries, and the potential for modernization and expansion of these refineries should be explored.

- Economic aspects:

Conduct a cost-benefit analysis of the construction of oil storage facilities and various oil transportation and refining schemes. This includes the cost of investment in the construction of oil storage facilities, refinery upgrades, and the cost of transporting petroleum products.

Feasibility of large underground storage facilities. Kazakhstan's President Kassym-Jomart Tokayev's raising of the issue of large oil storage facilities indicates the importance of providing the country with a reliable infrastructure for storage and management of oil products, strengthening the security of oil supplies, ensuring stability in the domestic market and increasing independence from external factors such as transportation constraints or geopolitical tensions.

The construction of oil storage facilities will ensure the development of infrastructure and economic potential of the region, as the construction of oil storage facilities can create jobs and contribute to the development of the local economy.

Underground oil storage facilities allow for the creation of significant reserves of crude oil and petroleum products in a small footprint. Compared to above-ground oil storage facilities, they are safer, characterized by lower evaporation losses, lower heat consumption to maintain the required temperature in the storage facility and lower specific costs of construction and operation. Underground oil storage facilities include underground tanks (tank workings, auxiliary mine workings, wells, etc.), surface buildings and structures. Due to floods that began in March 2024, oil wells in western Kazakhstan were flooded, especially in the Atyrau region, where most of the country's oil reserves are located. Three of the flooded wells are located in the East Uaz field - #101, #106, #116 (JSC Embamunaigas oil and gas production department

Kainarmunaigas). Another well is located at Zhana Makat field - No. E7 (5A Oil LLP). Faced with such a problem, having an underground oil storage facility is one of the strategies to minimize the risks associated with floods and other natural disasters. Unlike above-ground oil storage facilities, underground storage facilities can be more protected from natural disasters: floods, earthquakes or fires.

This is a serious problem for oil producers in Aktobe and Atyrau regions due to the flood situation. The suspension of 634 wells and the loss of 16 thousand tons of oil has a significant impact on production and on the economy of the country as a whole. It will also lead to negative consequences for the environment and the health of the local population.

Large underground storage facilities play an important role in ensuring the reliability and sustainability of the upstream and downstream industry, as well as protecting strategic reserves. Here are some of the tasks they accomplish:

- Stockpiling reserves to cover peak fluctuations, underground storage facilities allow oil and petroleum products to be stockpiled during periods of low demand or excess production to provide coverage for peak demand fluctuations or supply problems.

- Protecting strategic reserves, large underground storage facilities provide a safe and secure place to store strategically important hydrocarbon reserves to ensure preparedness to deal with emergencies or crises.

- Ensuring uninterrupted operations of production, refining and transportation facilities, underground storage facilities help to ensure a stable supply of oil and petroleum products to production, refining and transportation facilities, preventing downtime and reducing the risk of interruption to operations.

- Ensuring the reliability of the storage system, large underground storage facilities have high capacity and reliability, making them an important link in the hydrocarbon storage system, helping to ensure the stability of the industry and the sustainability of the country's energy system.



Figure 1 - Location of the planned underground oil storage facility located in Inder district of Atyrau region

Materials and methods. The underground oil storage project will help stabilize Kazakhstan's oil production, transportation and storage. The discovery of an old abandoned underground salt mine, presents significant prospects and a number of advantages of using the space of this mine for the construction of underground oil storage. [3]

It is proposed to create with relatively low investment underground storage in salt deposits, in the depleted salt mines of Inder. Inder is located in Atyrau region, and on the way of main oil pipelines Karachaganak-KTK, Atyrau-Samara. The technology of CCS has been tested worldwide, i.e. storage in salt domes is cheaper, safer, less negative impact on the environment, and there are practically no operating costs compared to ground equipment.

The cost of storage is several times cheaper than above-ground storage tanks. And due to the fact that oil will be stored at a depth of 300 meters (in the Caspian region 200 meters below sea level), it will preserve the temperature regime and pressure for oil, and as a consequence of preserving the quality of oil for a long time. [4]

Geographical location:

The mine's location between major oil and gas fields and its proximity to major transportation routes make it an ideal location for a storage facility.

This will reduce transportation costs and provide easy access to the storage facility.

Safety and sustainability:

The underground location of the storage facility provides it with protection from external influences such as weather or human factors, which increases the safety and sustainability of the storage facility.

Unique geotechnical properties:

An underground salt mine has unique geotechnical characteristics that can be ideally adapted to create an oil storage facility. For example, salt is a stable and strong material, making it ideal for creating secure walls and ceilings.

Cost-effectiveness:

Utilizing existing infrastructure reduces the cost of building a storage facility and shortens the project timeline. This makes the project more cost effective and competitive.

Reduced environmental impact: Underground storage minimizes negative environmental impacts because it does not require a large land area and does not create significant visual or environmental changes.

Based on the above factors, the use of an old salt mine for the construction of an underground oil storage facility appears promising and promises

to bring significant benefits in terms of both economics and the safety and sustainability of the oil infrastructure.

The estimated time and financial framework for converting the salt mine to an oil storage facility is very important to understand the scope of the project and its implementation. A timeframe of 3.5 years to convert the mine and construct the infrastructure is realistic given the complexity of the work and the amount of engineering involved.

Including the acquisition of geological information, study of the mine condition, reanimation of its shafts, cleaning and repair works, construction of infrastructure and facilities, laying of oil pipelines and railroad tracks will ensure safe and efficient operation of the oil storage facility.

The total cost of the project, estimated at \$370 million, also looks realistic given the complexity and scale of the work. This is an important investment decision that could bring significant benefits to the oil and gas industry and the wider economy of the region. The expected payback period of 6-7 years is reasonable and in line with generally accepted investment standards.

Results and discussion. Applying similar concepts and experience to the project in Kazakhstan can ensure its successful implementation. Applying successful practices and experience of other countries to the project in Kazakhstan will reduce risks and increase the chances of successful implementation of this innovative project.

This will help to balance the oil market, provide reserves in case of crisis or temporary disruptions in production. Such storage facilities can also reduce dependence on imports of oil products and ensure stable functioning of the domestic market.

On the other hand, proponents of redirecting funds to the construction of new export routes see this as a way to increase oil exports, which could lead to higher oil revenues. However, it could also increase dependence on foreign markets and increase risks in case of changes in global oil demand or geopolitical tensions.

Large oil producers operating in Kazakhstan

typically have their own tank farms that are designed to meet the operational needs and manage the flow of oil within their production operations. These tanks are typically designed to store oil for short periods of time, such as a few days, and do not provide long-term reserves or strategic stockpiles.

However, large oil storage facilities, as proposed by the President of Kazakhstan, may have a more strategic function. They can be designed to store significant volumes of oil for longer periods of time, allowing the country to respond more flexibly to changes in supply and demand on the world market, as well as to possible crisis situations, such as temporary restrictions on oil exports or transportation.

The situation with the suspension of oil pumping through the CPC's main export route does highlight Kazakhstan's vulnerability to dependence on certain transportation routes and markets. It also emphasizes the need to develop alternative routes and infrastructure to diversify oil export flows.

The repair pit contains slopes with specified slopes on both sides of the main pipeline, while the pipeline is located in the ground with a minimum wall thickness of at least 200-300 mm, and a flat bottom is formed on both sides of the pipeline located in the ground to the width of the excavator bucket. The technical result is that it is possible to simplify the work by reducing manual labor as much as possible with minimal environmental impact. The repair pit along the main pipeline 1 contains on both sides of the main pipeline 1 slopes 2 with specified slopes (steepness). The main pipeline 1 is located in the ground 3 with a minimum thickness of the soil wall of at least 200 – 300 mm, and on both sides of the main pipeline 1 located in the ground 3, a flat bottom 4 is formed for the width of the excavator bucket 5. The soil extracted from the pit 6 is located at least 500 – 700 mm from the edge of the slopes 2 of the pit on both sides.

The method of developing a repair pit along the main pipeline 1, in particular the oil pipeline, is that the repair pit is formed in the form of a trench, and the fertile soil layer is previously removed, which is formed in the form of a separate dump 7, the drainage strip is cleared of shrubs and vegetation,

the axis of the trench is broken down and fixed on the terrain, which is made by end face when moving a single-bucket excavator 5 along the axis of the newly laid oil pipeline instead of the repaired one, while the soil 6 removed from the trench, they are placed in the dump no closer than 0.5 – 0.7 m from the edge of the trench. When developing a trench with a single-bucket excavator 5, hangers are placed along the axis of the trench (not shown in the drawing) in front of it along the course of its movement and behind along the already dug trench, and in rectilinear sections, along the course of its movement, landmarks (hangers) with a height of 1 – 3 m are set every 30 - 50 m, to increase the accuracy of movement excavators on curved sections relative to the trench within the curve along the width of the tracks or along the width of the trench on both sides set landmarks every 1-2 m. [5-6]

During the work carried out, it was found that the described method ensures the precise movement of the excavator 5 along the underground main pipeline 1 laid in the ground, and no strengthening of the slopes is required, the ingress of soil from the dumps into the trench is completely prevented and the fertile soil layer is preserved, which fully allows restoring the environment after repair work on the main pipeline and at the same time, minimize the use of manual labor to clean the main pipeline under repair from the ground.

The construction of an oil storage facility can face various risks that can affect the project. The main risks to be considered are:

Technical Risks:

Technical Problems: Unforeseen technical problems during construction or operation can lead to delays and additional costs.

Process Disruption: Errors in design or construction could lead to disruption of the oil storage process and jeopardize the safety of the facility.

Environmental Risks:

Environmental Pollution: The need to comply with environmental standards and prevent soil, water and air pollution during construction and operation of an oil storage facility.

Oil Spill Risks: [7]

The possibility of oil spillage from tanks or pipelines can cause serious environmental and health consequences.

Financial risks:

Oil price volatility: Changes in world oil prices may affect the oil storage tank lease revenues and the overall profitability of the project.

Credit Risk Risks: The need for project financing and possible delays or non-repayment of loans may affect the financial position of the project.

Economic risks:

Oil market price risk: Since oil storage facility lease revenues may depend on oil prices, changes in the oil market may significantly affect the financial performance of the project.

The construction of large oil storage facilities may be one step towards mitigating such crisis situations. Storing oil in strategic reserves will help mitigate temporary disruptions in transportation and ensure stability of supply in both domestic and foreign markets. It can also help minimize revenue losses in case of suspension or restriction of export supplies.

Consideration of alternative export routes is equally important. Development of additional transportation corridors can reduce dependence on one main route and reduce risks for the country's economy in case of such crises in the future.

Thus, a comprehensive analysis of the construction of oil storage facilities and the development of alternative export routes will make it possible to take into account all factors and peculiarities.

Construction of storage facilities for raw materials and fuel is a necessary measure, because storage facilities provide coverage of seasonal and daily fluctuations and consumption, technological needs and export supplies. In order to mitigate crisis situations, oil-producing countries primarily seek to build strategic reserves.

In the world the practice of construction of underground storage facilities for hydrocarbon raw materials and fuels has been applied since the Second World War. They store crude oil, gasoline,

jet and diesel fuel, natural gas, helium concentrate, marginal and unsaturated hydrocarbons.

Underground oil storage facilities are the safest and most environmentally friendly option for storing hydrocarbons. Since, very often accidents occur during their operation of aboveground reservoirs.

Underground storages can be constructed in natural or artificial cavities, depending on the purpose. Natural cavities are mainly used for storing natural gas, while artificial cavities formed by geotechnological methods, for example, in rock salt deposits, are used for storing oil products.

Compared to above-ground tanks, underground storage facilities are characterized by higher economic efficiency, reduced losses from evaporation of light fractions of the product, low fire and explosion hazards, absence of product leakage and low probability of groundwater contamination, high resistance to earthquakes. Last but not least, they have an undeniable environmental advantage.[8]

Reduced global demand for oil amid the coronavirus pandemic, as well as Kazakhstan's plans to redirect a significant share of its oil exports to routes via the Caspian Sea, actualize the importance of storage systems. The country needs storage facilities to respond flexibly and efficiently to possible changes in domestic demand, to price increases that may occur as a result of liberalization or the creation of a single EAEU market. [9].

Conclusions. Providing safe and secure oil

storage is an important challenge for any country with oil resources or dependent on oil imports.

The country's needs for oil storage facilities are determined by the following factors: economic growth, development of transportation infrastructure, energy security, and seasonal fluctuations in demand. The studied experience of countries in building and using large oil storage facilities with developed oil and gas industry - China, USA and South Korea is of practical value for the development of strategy and plans in the field of oil and gas infrastructure in Kazakhstan. The ability to adapt best practices and technologies to local conditions and needs will create a more efficient and sustainable infrastructure. Despite the obstacles and risks that may arise during the construction and operation of an oil storage facility - accidents, equipment downtime and leaks of oil products from the storage facility, as well as market risks (changes in oil prices, demand for storage services and other factors), it can be concluded that the construction of an oil storage facility for Kazakhstan is a relevant and important issue. Due to the fact that Kazakhstan is a major oil producer and has significant export volumes, ensuring reliable and efficient storage of oil products becomes a priority.

A comprehensive analysis and consideration of various factors, including economic, technical, geopolitical and environmental aspects, will allow us to decide whether to build oil storage facilities or direct resources to the development of alternative export routes.

Литература

1. Официальный сайт Президента Республики Казахстан. URL:<https://www.akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-provel-vstrechu-s-obshchestvennostyu-atyrauskoj-oblasti-810283>
2. Дарибаева Н. Г. Анализ и оценка методов повышения эффективности систем сбора, подготовки и транспортировки высоковязкой нефти // КазҰТУ хабаршысы - Вестник КазНТУ – 2015.- № 2. - С. 191-195.
3. Шаяхметова К. О. Развитие нефтегазового комплекса как фактор повышения конкурентоспособности Казахстана / Шаяхметова К. О., Данабаева А. И. // Эл-Фараби атындағы КазҰУ Хабаршысы. - Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. - 2014. - № 1. - с. 58-61.
4. Султанмуратов Н. Новый нефтяной кризис и перспективы Казахстана // Казахстан в глобальных процессах. - 2015, - № 3. - С. 21-34.
5. И. Галактионов. Резервы нефти в США. - Статья 20.05.2022 г. на сайте <https://bcs.ru/>.

-
6. Шейнфельд С. Зарубежный опыт правового регулирования предоставления земельных участков для целей недропользования: Зарубежный опыт // Нефть, Газ и Право Казахстана, 2016 - № 4. – С. 38-46.
 7. Ногайбаев М. А. Международный опыт формирования и управления стратегическими запасами нефти в условиях рыночной экономики. // Л. Н. Гумилев атындағы ЕУУ хабаршысының экономика сериясы. - 2019. - № 1. - С. 110-118. DOI:<https://doi.org/10.32523/2079-620X-2019-1-110-120>
 8. Россия построит подземные нефтехранилища <https://undergroundexpert.info/opyt-podzemnogo-stroitelstva/poslednie-sobytiya/rossiya-podzemnye-neftehranilishha/>
 9. Какое нефтехранилище нужно Казахстану. <https://petrocouncil.kz/kakoe-neftehranilishhe-nuzhno-kazahstanu/> .

References

1. Oficial'nyj sajt Prezidenta Respubliki Kazahstan. URL: <https://www.akorda.kz/ru/glava-gosudarstva-provel-vstrechu-s-obshchestvennostyu-atyrauskoy-oblasti-810283> [in Russian]
2. Daribaeva N. G. Analiz i otsenka metodov povysheniya effektivnosti sistem sbora, podgotovki i transportirovki vysokovyazkoi nefti. // KazҰТУ хабаршысы - Vestnik KazNTU – 2015.- № 2. - S. 191-195. [in Russian]
3. Shayakhmetova K. O. Razvitie neftegazovogo kompleksa kak faktor povysheniya konkurentosposobnosti Kazakhstana / Shayakhmetova K. O., Danabaeva A. I. // Әл-Фараби атындағы KazҰУ Хабаршысы. - Vestnik KazNU im. Al'-Farabi. - 2014. - № 1. - S. 58-61. [in Russian]
4. Sultanmuratov N. Novyi neftyanoi krizis i perspektivy Kazakhstana. // Kazakhstan v global'nykh protsessakh. - 2015, - № 3. - S. 21-34. [in Russian]
5. I. Galaktionov. Rezervy nefti v SShA. - Stat'ya 20.05.2022 g. na saite <https://bcs.ru/> . [in Russian]
6. Sheinfel'd S. Zarubezhnyi opyt pravovogo regulirovaniya predostavleniya zemel'nykh uchastkov dlya tselei nedropol'zovaniya: Zarubezhnyi opyt // Neft', Gaz i Pravo Kazakhstana, 2016 - № 4. – S. 38-46. [in Russian]
7. Nogaibaev M. A. Mezhdunarodnyi opyt formirovaniya i upravleniya strategicheskimi zapasami nefti v usloviyakh rynochnoi ekonomiki. // L. N. Gumilev atyndagy EEU хабаршысынyn экономика seriyasy. - 2019. - № 1. - S. 110-118. DOI:<https://doi.org/10.32523/2079-620X-2019-1-110-120> [in Russian]
8. Russia to build underground oil storage facilities. <https://undergroundexpert.info/opyt-podzemnogo-stroitelstva/poslednie-sobytiya/rossiya-podzemnye-neftehranilishha/> [in Russian]
9. What kind of oil storage facility Kazakhstan needs. <https://petrocouncil.kz/kakoe-neftehranilishhe-nuzhno-kazahstanu/> .

Information about authors

Smailova N.T.-Doctor of Technical Sciences, Professor, , Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan, e-mail: ganibek2006@mail.ru;

Popov A.Yu. - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation. e-mail: popov_a_u@list.ru.

Сведения об авторах

Смайлова Н.-Т.-доктор технических наук, профессор, Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: ganibek2006@mail.ru.

Попов А.Ю.-доктор технических наук, профессор, Омский государственный технический университет, Омск, Российская федерация. e-mail: popov_a_u@list.ru.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОВАРНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ И ПОДГОТОВКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

¹К.К.Сейлханов, ¹Б.Т.Мурзагалиев, ²Ж.Т.Даулетжанова✉, ¹М.Т.Сейлханова, ¹С.Бахтияр

¹Товарищество с ограниченной ответственностью «ГЦПК «Кәсіпкер», Астана, Казахстан,

²Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан

✉Корреспондент-автор: Kaliyeva_zhanna@mail.ru

В научной статье описан математический метод расчета количеств углеводородных газов на разных этапах переработки углеводородного сырья, начиная от смешивания потоков углеводородного сырья и заканчивая контролем точности выходов продукции. Такой комплексный подход обеспечивает системное улучшение всех процессов переработки. Научная статья содержит примеры расчетов, что делает методику доступной для использования специалистами в отрасли. Это позволяет легко адаптировать и применять предложенные методы в различных производственных условиях. Эти аспекты подчеркивают высокую значимость и инновационность выполненной научной работы, способствуя решению актуальных проблем переработки углеводородного сырья и повышению эффективности нефтехимической промышленности.

Ключевые слова: углеводородные газы, состав газа, методика расчета газовых смесей, материальный баланс газовых смесей.

КӨМІРСУТЕК ГАЗДАРЫН ӨНДЕУ ЖӘНЕ ДАЙЫНДАУ КЕЗІНДЕ ТАУАРЛЫҚ ӨНІМДЕРДІ АНЫҚТАУДЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ӘДІСІ

¹К.К.Сейлханов, ¹Б.Т.Мурзагалиев, ²Ж.Т.Даулетжанова✉,

¹М.Т.Сейлханова, ¹С.Бахтияр

¹Жауапкершілігі шектеулі серіктестік «ГЦПК «Кәсіпкер», Астана, Қазақстан

²Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

e-mail: Kaliyeva_zhanna@mail.ru

Ғылыми мақалада көмірсутектерді өндеудің әртүрлі кезеңдерінде көмірсутекті қоректік ағындарды араластырудан бастап өнім шығымының дәлдігін бақылауға дейін көмірсутекті газдардың мөлшерін есептеудің математикалық әдісі сипатталған. Бұл кешенді тәсіл өндеудің барлық процестерін жүйелі түрде жақсартуды қамтамасыз етеді. Ғылыми мақалада есептеу мысалдары келтірілген, бұл әдістемені сала мамандарына қолжетімді етеді. Бұл ұсынылған әдістерді әртүрлі өндірістік жағдайларда бейімдеуді және қолдануды жеңілдетеді. Бұл аспектілер көмірсутекті өндеудің өзекті мәселелерін шешуге және мұнай-химия өнеркәсібінің тиімділігін арттыруға ықпал ететін атқарылған ғылыми жұмыстардың жоғары маңыздылығы мен жаңашылдығын көрсетеді.

Түйін сөздер: көмірсутекті газдар, газ құрамы, газ қоспаларын есептеу әдістері, газ қоспаларының материалдық балансы.

MATHEMATICAL METHOD FOR DETERMINING COMMERCIAL PRODUCTS DURING PROCESSING AND PREPARATION OF HYDROCARBON GASES

¹К.К.Seilkhanov, ¹В.Т.Murzagaliev, ²Zh.Т. Dautletzhanova✉,¹М.Т.Seilkhanova, ¹С.Вakhtiyar¹Limited liability partnership «ГЦПК «Кәсіпкер», Astana, Kazakhstan,²Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,

e-mail: Kaliyeva_zhanna@mail.ru

The scientific article describes a mathematical method for calculating the amounts of hydrocarbon gases at different stages of hydrocarbon processing, starting from mixing hydrocarbon feed streams and ending with monitoring the accuracy of product yields. This integrated approach ensures systemic improvement of all processing processes. The scientific article contains examples of calculations, which makes the methodology accessible for use by industry specialists. This makes it easy to adapt and apply the proposed methods in various production conditions. These aspects emphasize the high significance and innovativeness of the scientific work performed, contributing to solving pressing problems of hydrocarbon processing and increasing the efficiency of the petrochemical industry.

Keywords: hydrocarbon gases, gas composition, methods for calculating gas mixtures, material balance of gas mixtures.

Введение. В последние годы все большую долю сырья в нефтехимической промышленности занимают попутные газы нефтяных месторождений. Добыча, транспортировка, переработка и хранение углеводородного сырья, такого как природный газ и попутный нефтяной газ, играет ключевую роль в нефтехимической промышленности и энергетическом секторе [1]. Повышение эффективности переработки углеводородного сырья может значительно повысить экономическую эффективность нефтегазовых компаний и улучшить экономические показатели страны. Интеграция современных технологий - внедрение современных методов вычислений технологии разделения, адсорбционные и абсорбционные процессы, позволяет значительно улучшить процесс переработки углеводородного сырья и повысить выход целевых продуктов [2].

Сокращение выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов является приоритетом в глобальной экологии. Эффективная переработка попутного нефтяного газа позволяет уменьшить объемы сжигания газа на факелах, что способствует снижению экологической нагрузки на окружающую среду [3].

Переработка углеводородного сырья, такого как природный газ, попутный нефтяной газ или иной углеводородный газ, является актуальным,

сложным многоэтапным процессом. На каждом этапе переработки происходит выделение различных продуктов, включая товарный газ, сжиженный нефтяной газ, сжиженный углеводородный газ, конденсат и другие углеводороды. Для обеспечения точности в определении количества этих продуктов используются различные методики, основанные на материальных балансах, физических и химических свойствах сырья, а также на данных, полученных с помощью аналитических методов [4].

Определение количества товарного газа, СНГ, СУГ, конденсата и других продуктов при переработке углеводородного сырья является критически важным этапом, влияющим на экономическую эффективность и экологическую безопасность производства. Развитие методов материального баланса, использование передовых аналитических технологий и оптимизация технологических процессов позволяют достигать высокой точности и надежности расчетов. Важное значение имеет также постоянное совершенствование технологических установок и внедрение инновационных решений, направленных на снижение потерь и минимизацию воздействия на окружающую среду [5].

Месторождения углеводородного сырья часто расположены в отдаленных районах, что дела-

ет транспортировку газа капиталоемкой. Разработка методов переработки газа непосредственно на месте его добычи может существенно снизить затраты на транспортировку и повысить рентабельность производства. Методы расчета количества углеводородной продукции играют ключевую роль в повышении экономической и экологической эффективности процессов переработки углеводородного сырья. Точные расчеты материальных балансов и использование передовых аналитических технологий позволяют оптимизировать производственные процессы, снизить затраты и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Применение этих методов способствует достижению устойчивого развития нефтегазовой промышленности, обеспечивая баланс между экономическими выгодами и экологической ответственностью.

Проекты по сокращению объемов сжигания ПНГ носят, в основном, экологическую направленность. Положительный эффект заключается в снижении выбросов значительного количества загрязняющих веществ (ЗВ) и парниковых газов в атмосферу. Исторически нормативно-правовые акты и регулирующие документы в России недостаточно стимулировали нефтяные компании к минимизации факельного сжигания газа и повышения уровня его эффективного использования [6].

Материалы и методы. В настоящее время использование механизмов Киотского протокола помогают за счет продажи единиц сокращения выбросов (ЕСВ) снизить уровень антропогенного воздействия на окружающую среду, а также значительно улучшить экономические показатели проектов эффективного использования ПНГ и компенсировать часть затрат на создание инфраструктуры для утилизации попутного газа [7]. В настоящее время вследствие ужесточения требований по выбросам ЗВ возникли соответствующие нормативы, по которым в факелах разрешается сжигать не более 5 % произведенного ПНГ. При повышении этого уровня к плате за выбросы ЗВ дополнительно применяются повышающие коэффициенты. Если узлы учета ПНГ не установлены, данный коэффициент применяется рав-

ным 120. Штрафы за сжигание ПНГ относительно невысоки, но снижение цены на нефть и так привело к достаточно большим убыткам для нефтяных компаний [8]. Во многих странах проекты добычи трудноизвлекаемой нефти вследствие снижения цен стали нерентабельными. В России уже приостановлены разработки некоторых новых нефтяных месторождений. Поскольку для нефтехимической промышленности ПНГ является основным сырьем, без которого она не может функционировать, длительная эксплуатация существующих месторождений, без ввода новых, может привести к дефициту сырья для нефтегазохимической промышленности, которая на сегодняшний день, в среднем, загружена всего лишь на 40 %. Учитывая то, что на долю нефтехимической промышленности приходится около 60% промышленной продукции страны и более 7% налоговых платежей, допущение такой ситуации сильно отразится на экономике страны.

Низкий уровень утилизации ресурсов нефтехимии является одной из наиболее острых современных проблем в развитии нефтегазового сектора России [9].

Подробная схема приведена на рис.1. пластовая газожидкостная смесь поступает в блоки пробкоуловителей 1, где происходит разделение газожидкостной смеси на газ углеводородный и конденсат. От блоков пробкоуловителя 1 газ направляется через аппарат воздушного охлаждения 3 на установку адсорбционной осушки, в состав которой входят фильтры-сепараторы 7 и группа адсорберов 8. По мере заполнения адсорбционного слоя влагой, каждый из адсорберов выводится в режим «регенерации» горячим газом, после чего охлаждается и включается в режим «осушки». Осушенный газ от установки адсорбционной осушки двумя параллельными потоками подается в блоки теплообменников. Первый поток: блок теплообменников 9, где охлаждается до температуры минус 5–15°C газом из низкотемпературного сепаратора 13. Второй поток: блок теплообменников 10, где охлаждается до температуры минус 25–35°C газовым конденсатом из низкотемпературного сепаратора 13. Смешанный газ от теплообменников 9, 10 с температурой

минус 20–30°C подается в промежуточные сепараторы 11, а затем на турбодетандерного агрегата 12, где температура газа понижается до минус 50–60°C. Охлажденный двухфазный поток отводится в низкотемпературные сепараторы 13, откуда газ подается в дефлегматор колонны низкотемпературной ректификации 15, затем — в рекуперативный теплообменник 9, компримируется в компрессоре турбодетандерного агрегата 12 и направляется на прием компрессоров внешнего транспорта товарного газа 17. Конденсат из блоков пробкоуловителей 1 отводится в разделитель 2, где происходит отделение конденсата от пластовой воды и разгазирование при давлении 2,5–3,5 МПа. Газ выветривания подается на газоперекачивающие агрегаты 6, а затем смешивается с основным потоком газа, направляемого в блок адсорбционной осушки. Газовый конденсат из разделителя 2 подается в колонну горячей деэтанализации 4. Конденсат подается в колонну двумя потоками: первый — в верхнюю часть колонны, второй — в среднюю часть колонны, предварительно подогреваясь в рекуперативном теплообменнике 5. Параметры работы колонны горячей деэтанализации 4: температура верха колонны равна 10–35°C, температура низа — 140–200°C. Подвод тепла осуществляется за счет циркуляции кубового продукта через подогреватели, в качестве которых могут выступать как огневые подогреватели, так и теплообменники с циркулирующим промежуточным теплоносителем. Газ деэтанализации колонны 4 смешивается с газом выветривания, поступающим на компрессоры 6. Деэтанализированный газовый конденсат с куба колонны 4 подается в рекуперативный теплообменник 5, а затем в блок насосный внешнего транспорта. Нестабильный конденсат из низкотемпературных сепараторов 13, смешивается с конденсатом из промежуточных сепараторов 11 и с температурой минус 40–60°C, подогревается в рекуперативных теплообменниках 10 и подается в колонну низкотемпературной ректификации 15. Параметры работы колонны низкотемпературной ректификации: давление 2–3 МПа, температура верха — минус 20–30°C, температура низа колонны — 80–120°C. Подвод тепла

продукта через подогреватели. Дистиллят колонны 15 поступает в дефлегматор 14, где охлаждается газом из низкотемпературного сепаратора 13 до температуры минус 40–50°C, при этом выделившийся из газа конденсат (преимущественно пропан и бутан) отбивается на насадках дефлегматора и возвращается на верхнюю тарелку колонны в качестве орошения. Затем осушенный газ охлаждает пропан-бутановую фракцию в рекуперативных теплообменниках 16, компримируется в агрегатах 16 и смешивается с товарным осушенным газом, который соответствует СТО 089–2010. Пропан-бутановая фракция с куба колонны 15 подается в рекуперативный теплообменник 16, а затем направляется в блок насосный внешнего транспорта.

Основные отличительные особенности этой установки заключаются в использовании технических решений, которые до сих пор, в основном, применялись на газоперерабатывающих заводах, в частности: предотвращение процессов гидратообразования осуществляется путем осушки сырого газа в блоке адсорберов; глубокое извлечение пропана осуществляется с применением колонны низкотемпературной сепарации [10].

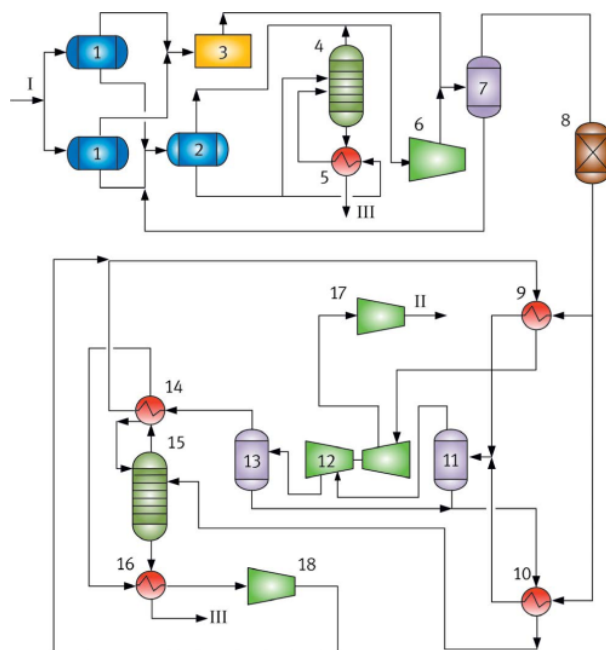


Рис. 1 - Технологическая схема установки комплексной подготовки природного газа с глубоким извлечением углеводородов C_{3+}

I – нестабильный газовый конденсат; II – товарный осушенный газ; III – деэтанализованный газовый конденсат в блок насосной внешней транспорта
 $M_{\text{сырье}} = M_{\text{газ}} + M_{\text{СНГ}} + M_{\text{СУГ}} + M_{\text{конденсат}} + M_{\text{потери}}$

где $M_{\text{сырье}}$ – масса исходного сырья, $M_{\text{газ}}$ – масса товарного газа, $M_{\text{СНГ}}$ – масса сжиженного нефтяного газа, $M_{\text{СУГ}}$ – масса сжиженного углеводородного газа, $M_{\text{конденсат}}$ – масса конденсата, $M_{\text{потери}}$ – масса потерь.

Расчет количества товарного газа:

$$M_{\text{газ}} = M_{\text{сырье}} \cdot K_{\text{газ}}$$

где $K_{\text{газ}}$ – коэффициент извлечения товарного газа.

Расчет количества сжиженного нефтяного газа:

$$M_{\text{СНГ}} = M_{\text{сырье}} \cdot K_{\text{СНГ}}$$

где $K_{\text{СНГ}}$ – коэффициент извлечения сжиженного нефтяного газа.

Расчет количества сжиженного углеводородного газа:

$$M_{\text{СУГ}} = M_{\text{сырье}} \cdot K_{\text{СУГ}}$$

где $K_{\text{СУГ}}$ – коэффициент извлечения сжиженного углеводородного газа.

Расчет количества конденсата:

$$M_{\text{конденсат}} = M_{\text{сырье}} \cdot K_{\text{конденсат}}$$

где $K_{\text{конденсат}}$ – коэффициент извлечения конденсата.

Пример расчета

Исходные данные:

Состав сырья: метан (70%), этан (10%), пропан (8%), бутан (5%), пентан и тяжелее (7%). Объем сырья: 10000 м³. Коэффициенты извлечения: товарный газ (85%), СНГ (5%), СУГ (7%), конденсат (3%).

Расчет:

Масса товарного газа:

$$M_{\text{газ}} = 10000 \text{ м}^3 \cdot 0.85 = 8500 \text{ м}^3$$

Масса сжиженного нефтяного газа:

$$M_{\text{СНГ}} = 10000 \text{ м}^3 \cdot 0.05 = 500 \text{ м}^3$$

Масса сжиженного углеводородного газа:

$$M_{\text{СУГ}} = 10000 \text{ м}^3 \cdot 0.07 = 700 \text{ м}^3$$

Масса конденсата:

$$M_{\text{конденсат}} = 10000 \text{ м}^3 \cdot 0.03 = 300 \text{ м}^3$$

Таким образом, из 10000 м³ исходного сырья получается 8500 м³ товарного газа, 500 м³ сжиженного нефтяного газа, 700 м³ сжиженного углеводородного газа и 300 м³ конденсата.

Результаты и обсуждение. Этот метод позволяет точно рассчитать количество получаемых продуктов на основе исходных данных и коэффициентов извлечения, что важно для планирования и оптимизации процессов переработки углеводородного сырья. Расчет общего объема смеси углеводородного сырья $V_{\text{СУС}}$, тыс. м³, определяется по следующей формуле:

$$V_{\text{СУС}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (1)$$

где $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ – объемы потоков углеводородного сырья, поступающих в общую смесь углеводородного сырья, тыс. м³.

Расчет доли i -того потока углеводородного сырья ω_i , от общего количества смеси углеводородного сырья определяется, по следующей формуле:

$$\omega_i = \frac{V_i}{V_{\text{СУС}}} \quad (2)$$

Расчет мольной доли j -того компонента смеси углеводородного сырья, x_j , % (моль), определяется по следующей формуле:

$$x_j = \sum_{i=1}^n x_i^j \times \omega_i \quad (3)$$

где, x_i^j – мольная доля j -того компонента, i -того потока углеводородного сырья поступающего в общую смесь углеводородного сырья, % (моль). Метод пересчета смеси углеводородного сырья по составу и определение количества выхода продукции – n, n, n , определяется по соотношению

$$(n_{\text{СУС}}^{\text{II}}, n_{\text{СУС}}^{\text{СУГ}}, n_{\text{СУС}}^{\text{конд}}, n_{\text{C2}}^{\text{СУС}}, n_{\text{C4}}^{\text{СУС}}, n_{\text{C5}}^{\text{СУС}}, n_{\text{C6}}^{\text{СУС}}, \dots, n_{\text{CO2}}^{\text{СУС}}, n_{\text{N2}}^{\text{СУС}}, \dots) = \vec{\Omega}_0 \times A^{-1} \quad (4)$$

где, A – является матрицей от состава $\vec{\Omega}_{\text{II}}, \vec{\Omega}_{\text{СУГ}}, \vec{\Omega}_{\text{конд}}$:

$$A = \begin{pmatrix} \overline{\Omega} \\ \overline{\Omega} \\ \overline{\Omega} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Разница между количеством углеводородного вещества в установках и технологических трубопроводах в начале и в конце расчетного периода, $\Delta \overline{N}_{\text{запас}}$, определяется как:

$$\Delta \overline{N}_{\text{запас}} = (0, 0, 0, n_{\text{C}_2}^{\text{СУС}}, n_{\text{C}_4}^{\text{СУС}}, n_{\text{C}_5}^{\text{СУС}}, n_{\text{C}_6}^{\text{СУС}}, \dots, n_{\text{CO}_2}^{\text{СУС}}, n_{\text{N}_2}^{\text{СУС}}, \dots) \quad (6)$$

Выражение A^{-1} является обозначением обратной матрицы, определяется на основе автоматизированных методов или в соответствии [11] осуществляется по формуле:

$$k_{\text{СУГ}} = \frac{n_{\text{СУГ}}}{n_{\text{СУС}}^{\text{СУГ}}} + \frac{n_{\text{СУГ}} \times |\Delta \overline{N}_{\text{запас}}|}{n_{\text{СУС}}} \quad (9)$$

$$A^{-1} = \frac{1}{|A|} \times S^T \quad (7)$$

$$k_{\text{конд}} = \frac{n_{\text{конд}}}{n_{\text{СУС}}^{\text{конд}}} + \frac{n_{\text{конд}} \times |\Delta \overline{N}_{\text{запас}}|}{n_{\text{СУС}}} \quad (10)$$

Где $|A|$ – определитель матрицы A ;

S^T – транспонированная матрица

$(|A_{ij}|)_{i=1\dots n, j=1\dots n}$;

A_{ij} – Алгебраическое дополнение к элементу матрицы A с координатами $(i; j)$, определяемая по схеме:

- вычёркиваем из исходной матрицы A i -строчку и j -й столбец.
- получим новую квадратную матрицу, и её умножаем этот на $(-1)^{i+j}$.

Определитель матрицы рассчитывается по [12].

Расчет (норматива) удельного количества продуктов переработки по формулам:

$$k_{\text{ТР}} = \frac{n_{\text{ТР}}}{n_{\text{СУС}}^{\text{ТР}}} + \frac{n_{\text{ТР}} \times |\Delta \overline{N}_{\text{запас}}|}{n_{\text{СУС}}} \quad (8)$$

где $n_{\text{СУС}}$ – общее количество вещества углеводородного сырья, поступающего на переработку, кмоль;

$n_{\text{СУС}}^{\text{ТР}}$ – количество вещества переработанного товарного газа, кмоль, рассчитанный на основе состава углеводородного сырья и товарного газа в соответствии с п. 2;

$n_{\text{СУС}}^{\text{СУГ}}$ – количество вещества, переработанного сжиженного углеводородного газа, кмоль, рассчитанный на основе состава углеводородного сырья и сжиженного углеводородного газа в соответствии с п. 2;

$n_{\text{СУС}}^{\text{конд}}$ – количество вещества переработанного конденсата, кмоль, рассчитанный на основе состава углеводородного сырья и конденсата в соответствии с п. 2;

$n_{\text{ТР}}$ – количество вещества переработанного товарного газа, кмоль;

$n_{\text{СУГ}}$ – количество вещества, переработанного сжиженного углеводородного газа, кмоль;

$n_{\text{конд}}$ – количество вещества вырабатываемого конденсата, кмоль;

$\Delta \overline{N}_{\text{запас}}$ – разница между количеством углеводородного вещества в установках и технологических трубопроводах в начале и в конце расчетного периода, определяемый в соответствии п. 2.

Для определения количества выхода углеводородной продукции, входящего в состав смеси углеводородного сырья, поступающий на переработку, применяется следующая формула:

$$V_{\text{ТТ}}^{\text{ВЫХ}} = 24,04012 \times n_{\text{ТТ}} \times k_{\text{ТТ}}, \text{ ст.м}^3 \quad (11)$$

$$m_{\text{СУГ}}^{\text{ВЫХ}} = n_{\text{СУГ}} \times k_{\text{СУГ}} \times M_{\text{СУГ}}, \text{ кг} \quad (12)$$

$$m_{\text{конд}}^{\text{ВЫХ}} = n_{\text{конд}} \times k_{\text{конд}} \times M_{\text{конд}}, \text{ кг} \quad (13)$$

где $n_{\text{ТТ}}$ – количество вещества переработанного товарного газа, кмоль, рассчитанный на основе состава смеси углеводородного сырья и товарного газа в соответствии с Разделом 3;

$n_{\text{СУГ}}$ – количество вещества, переработанного сжиженного углеводородного газа, кмоль, рассчитанный на основе состава смеси углеводородного сырья и сжиженного углеводородного газа в соответствии с Разделом 3;

$n_{\text{конд}}$ – количество вещества переработанного конденсата, кмоль, рассчитанный на основе состава смеси углеводородного сырья и конденсата в соответствии с Разделом 3;

$k_{\text{ТТ}}$ – удельная норма выхода переработанного товарного газа;

$k_{\text{СУГ}}$ – удельная норма выхода переработанного сжиженного углеводородного газа;

$k_{\text{конд}}$ – удельная норма выхода переработанного конденсата;

$M_{\text{СУГ}}$ – мольная масса переработанного сжиженного углеводородного газа, кг/кмоль;

$M_{\text{конд}}$ – мольная масса переработанного конденсата, кг/кмоль.

Контроль точности расчета

Расширенная неопределённость результатов расчета выхода углеводородного сырья, тыс. м³, определяется по формуле:

$$U = k \cdot u_l \quad (14)$$

где l – коэффициент охвата, принимает значение в интервале 2-3, что соответствует выбранному уровню доверия 95-99 %;

u_k – стандартная неопределённость, тыс. м³, определяемая по формуле:

$$u_k = \sum_{i=0}^n V_i \cdot \Delta \Omega_i + \sum_{j=0}^m V_j \cdot \delta_j \quad (15)$$

где V – общий объем смеси углеводородного сырья, поступающий на переработку, в расчетный период, тыс. м³;

$\Delta \Omega_i$ – установленная погрешность определения компонентного состава i -го анализа;

V_i – количество газа, соответствующего компонентному составу полученному i -ым анализом, в расчетный период, тыс. м³, участвующим в учете газа в системе переработки углеводородного сырья;

δ_j – установленная погрешность j -го замерного узла, в соответствии с таблицей Е.1;

V_j – количество зафиксированного газа j -ым замерным узлом, в расчетный период, тыс. м³, участвующим в учете газа в системе переработки углеводородного сырья.

Контроль правильности результатов расчета:

$$\frac{u_l}{V} \times 100 < K_n \quad (16)$$

где V – общий объем смеси углеводородного сырья, поступающий на переработку, в расчетный период, тыс. м³;

u_l – стандартная неопределённость, определяемая по формуле (15), тыс. м³;

K_n – норматив контроля, %;

K_n принимается не более 1%.

Для перевода количества вещества в массу

смеси углеводородного сырья применяется следующая формула:

$$m_{\text{СУС}} = n \times M_{\text{СУС}}, \text{ кг}, \quad (17)$$

где n – количество вещества смеси углеводородного сырья, кмоль;

$M_{\text{СУС}}$ – молярная масса смеси углеводородного сырья, кг/кмоль.

Для перевода массу в количество вещества смеси углеводородного сырья применяется следующая формула:

$$n = \frac{m_{\text{СУС}}}{M_{\text{СУС}}}, \text{ кмоль},$$

где, $m_{\text{СУС}}$ – масса смеси углеводородного сырья, кг;

$M_{\text{СУС}}$ – молярная масса смеси углеводородного сырья, кг/кмоль.

Для перевода количества вещества в объем газа в стандартных условиях смеси углеводородного сырья применяется следующая формула:

$$V_{\text{ст.у.}} = 24,04012 \times n, \text{ м}^3 \quad (18)$$

где n – количество вещества смеси углеводородного сырья, кмоль.

Для перевода объем газа (в стандартных условиях) в количество вещества смеси углеводородного сырья применяется следующая формула:

$$n = 0,04159713 \times V_{\text{ст.у.}}, \text{ кмоль} \quad (19)$$

Где $V_{\text{ст.у.}}$ – объем углеводородного газа в стандартных условиях, м³.

Молярные массы компонентов смеси углеводородного сырья приведены в таблице А.1.

Плотность газа в стандартных условиях, ρ , кг/м³, определяется по формуле:

$$\rho = 0,04159713 \cdot M \quad (20)$$

где M – молярная масса, кг/кмоль.

Экологические и экономические аспекты. Научно-исследовательская работа по разработке

и анализу методов переработки углеводородного сырья предлагает инновационные решения, которые существенно повышают экономическую эффективность и снижают экологическую нагрузку. Использование передовых технологий и точных аналитических методов позволяет улучшить переработку сырья, снизить затраты и повысить доходы, одновременно способствуя охране окружающей среды за счет снижения выбросов и рационального использования ресурсов. Точные методы расчета и оптимизация технологических процессов позволяют уменьшить объемы сжигания газа на факелах, что снижает выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу. Внедрение современных технологий переработки углеводородного сырья способствует снижению экологической нагрузки и улучшению экологических показателей предприятий. Оптимизация переработки углеводородного сырья позволяет рационально использовать ресурсы, минимизируя потери и воздействие на окружающую среду. Применение энергоэффективных технологий, таких как мембранные, адсорбционные и абсорбционные процессы, улучшает процессы переработки и снижает энергозатраты, что благоприятно сказывается на экологии. Современные методы переработки, такие как низкотемпературная ректификация и использование высокоэффективных насадок в колоннах, уменьшают энергозатраты и выбросы, повышая экологическую безопасность процессов. Методы расчета материального баланса и аналитические технологии позволяют точно определять количество выходящих продуктов (товарный газ, сжиженный углеводородный газ, конденсат), что улучшает планирование и управление ресурсами, повышая рентабельность производственных процессов. Оптимизация технологических процессов и использование передовых математических методов позволяют достичь высокой точности и надежности расчетов, что улучшает планирование и управление ресурсами. Применение передовых технологий, таких как плазмохимические и волновые методы, снижает капитальные затраты на переработку углеводородного сырья, улучшая экономические показатели предприятий. Разработка методов переработки газа непосредственно

на месте его добычи снижает затраты на транспортировку, что особенно важно для удаленных месторождений. Внедрение автоматизированных систем расчетов сокращает время на проведение расчетов и снижает вероятность ошибок, что дополнительно повышает экономическую эффективность переработки углеводородного сырья. Продажа единиц сокращения выбросов (ЕСВ) помогает улучшить экономические показатели проектов и компенсировать часть затрат на создание инфраструктуры для утилизации попутного нефтяного газа (ПНГ).

Выводы: Уникальный разработанный метод предлагает расчет общего объема смеси углеводородного сырья, а также доли каждого потока сырья в общей смеси. Это позволяет точно определить мольную долю каждого компонента в смеси. Применение матричных методов для пере-

счета состава углеводородного сырья на выход продукции. Использование обратной матрицы и компонентного состава позволяет точно определить количество выходящих продуктов. Методика включает расчет удельного выхода различных продуктов (товарный газ, сжиженный углеводородный газ, конденсат) на основе общего количества углеводородного сырья и технологических потерь. Определение количества выходящей продукции для каждого конкретного потока углеводородного сырья позволяет детализировать расчет и повысить точность. Введение показателя расширенной неопределенности и методов контроля правильности расчетов. Это обеспечивает уверенность в точности и достоверности результатов. Применение формул для перевода количества вещества в массу и объем и наоборот. Это позволяет легко конвертировать результаты расчетов в необходимые единицы измерения.

Литература

1. Муллахметова Л.И., Черкасова Е.И. Попутный нефтяной газ: подготовка, транспортировка и переработка // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. - Т.18(19) - С. 83-90
2. Азарова А.И. Инновационные технологии в нефтедобыче и их отражение в системе управления вертикально интегрированных нефтяных компаний // Проблемы учёта и финансов. - 2012. - № 4 (8) 2012. С.35-47
3. Владимирова А.И. Экология нефтегазового комплекса / А.И. Владимирова. М: Нефть и газ. - 2003. - 415 с. ISBN 5-7246-0232
4. Муллахметова Л.И., Черкасова Е.И., Сигбатуллина Р.И., Бикмухаметова Г.К., Мустафина А.М., Салахов И.И. Газофракционирование // Вестник технологического университета. - 2016. - Т19(24) - С. 49-555.
5. Семенова Т.А. Очистка технологических газов / Т.А. Семенова и др -М.: Химия- 1997.-314 с.
6. Абдуллин А.И., Солодова Н.Л., Пиролиз углеводородного сырья. Учебное пособие / Солодова Н.Л., Абдуллин А.И. // КГТУ. - Казань, 2008. - 240 с. ISBN: 978-5-7882-0518-2
7. Аджиев А.Ю., Пуртов П.А. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России: в 2 ч. Ч. 2 / А.Ю.Аджиев, П.А.Пуртов. - Краснодар: ЭДВИ, 2014. - 504 с.
8. Ибрагимова А.В. Методическое обеспечение управления эффективностью утилизации попутного нефтяного газа на нефтедобывающих предприятиях: дис. ... к.э.н. Удмуртский государственный университет. - 2015. - 166 с.
9. Муродов М. Н. Системы разработки газоконденсатных месторождений // Молодой ученый. - 2014. - №1. - С. 102-103.
10. Аристова В.В. Альтернативные комплексные технологии переработки попутных нефтяных газов / В.В. Аристова, А.С. Дорофеев (<http://www.gazcompany.ru/gazpngfull.html>)

11. Даутов Р.З., Тимербаев М.Р. Численные методы. Решение задач линейной алгебры и дифференциальных уравнений: учебное пособие. — Казань: К(П)ФУ, 2021.-168 с.
12. Кабанова О.А. Вычисление определителя. Нахождение обратной матрицы/ Мет. пособие по курсу «Высшая математика» раздел «Линейная алгебра». М.: МАИ, 2015. – 15 с.

References

1. Mullahmetova L.I., Cherkasova E.I. Poputnyj neftjanoy gaz: podgotovka, transportirovka i pererabotka// Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta.- 2015. - T.18(19)- S. 83-90. [in Russ.]
2. Azarova A.I. Innovacionnye tehnologii v neftedobyche i ih otrazhenie v sisteme upravlenija vertikal'no integrirovannyh neftjanyh kompanij// Problemy uchjota i finansov.-2012.- № 4 (8) 2012. S.35-47. [in Russ.]
3. Vladimirov A.I. Jekologija neftegazovogo kompleksa /A.I. Vladimirov. M: Neft' i gaz.- 2003.- 415 s. ISBN 5-7246-0232. [in Russ.]
4. Mullahmetova L.I., Cherkasova E.I., Sigbatullina R.I., Bikmuhametova G.K., Mustafina A.M., Salahov I.I. Gazofrakcionirovanie // Vestnik tehnologicheskogo universiteta.- 2016.- T19(24) - S. 49-555. [in Russ.]
5. Semenova T.A. Ochistka tehnologicheskikh gazov / T.A. Semenova i dr -M.: Himija- 1997.-314 s.
6. Abdullin A.I., Solodova N.L., Piroliz uglevodorodnogo syr'ja. Uchebnoe posobie / Solodova N.L., Abdullin A.I.// KGTU. - Kazan', 2008.- 240 s. ISBN: 978-5-7882-0518-2. [in Russ.]
7. Adzhiev A.Ju., Purtov P.A. Podgotovka i pererabotka poputnogo neftjanogo gaza v Rossii: v 2 ch. Ch. 2 / A.Ju. Adzhiev, P.A. Purtov. - Krasnodar: JeDVI, 2014. - 504 s. [in Russ.]
8. Ibragimova A.V. Metodicheskoe obespechenie upravlenija jeffektivnost'ju utilizacii poputnogo neftjanogo gaza na neftedobyvajushhih predpriyatijah: dis. ... k.je.n. Udmurtskij gosudarstvennyj universitet. -2015. – 166 s. [in Russ.]
9. Murodov M. N. Sistemy razrabotki gazokondensatnyh mestorozhdenij // Molodoj uchenyj.- 2014.- № 1.- S. 102-103. [in Russ.]
10. Aristova V.V. Al'ternativnye kompleksnye tehnologii pererabotki poputnyh neftjanyh gazov/ V.V. Aristova, A.S. Dorofeev (<http://www.gazcompany.ru/gazpngfull.html>). [in Russ.]
11. Dautov R.Z., Timerbaev M.R. Chislennye metody. Reshenie zadach linejnoy algebry i differencial'nyh uravnenij: uchebnoe posobie. — Kazan': K(П)ФУ, 2021.-168 с. [in Russ.]
12. Кабанова О.А. Вычисление определителя. Нахождение обратной матрицы/ Мет. пособие по курсу «Высшая математика» раздел «Линейная алгебра». М.: МАИ, 2015.- 15 с. [in Russ.]

Сведения об авторах

Сейлханов К.К. - магистр математики, директор Товарищество с ограниченной ответственностью «ГЦПК «Кәсіпкер», Астана, Казахстан, e-mail: kks_kz@mail.ru;

Мурзагалиев Б.Т. - магистр по специальности «Химическая технология взрывчатых веществ и пиротехнических средств», технический Директор Товарищество с ограниченной ответственностью «ГЦПК «Кәсіпкер», Астана, Казахстан, e-mail: murzagaliyev.b.t@gmail.com;

Даулетжанова Ж.Т. - доктор PhD, преподаватель, Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru;

Сейлханова М.Т. - магистр педагогических наук, научный сотрудник Товарищество с ограниченной ответственностью «ГЦПК «Кәсіпкер», Астана, Казахстан, e-mail: mbt_kz@mail.ru;

Бахтияр С. - магистр педагогических наук начальник отдела Нормативно-технической документации Товарищество с ограниченной ответственностью «ГЦПК «Кәсіпкер», Астана, Казахстан, e-mail: serik19.98.01@gmail.com

Information about authors

Seilkhanov K.K.- Director of Limited liability partnership «ГЦПК «Кәсіпкер», Astana, Kazakhstan, Master of Mathematics, e-mail: kks_kz@mail.ru;

Murzagaliyev B.T. - Technical Director of Limited liability partnership «ГЦПК «Кәсіпкер», Astana, Kazakhstan, Master's degree in "Chemical technology of explosives and pyrotechnics", e-mail: murzagaliyev.b.t@gmail.com;

Dauletzhanova Zh.T. - PhD, Lecturer, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: kaliyeva_zhanna@mail.ru;

Seilkhanova M.T. - Researcher of Limited liability partnership «ГЦПК «Кәсіпкер», Astana, Kazakhstan, Master of Educational Sciences, e-mail: mbt_kz@mail.ru;

Bakhtiyar S. - Head of the Regulatory and Technical Documentation Department in Limited liability partnership «ГЦПК «Кәсіпкер», Astana, Kazakhstan, Master of Educational Sciences, e-mail: serik19.98.01@gmail.com

Экономика, бизнес и услуги

IRSTI 06.71.57

<https://doi.org/10.58805/kazutb.v.3.24-526>**LOCAL COMMUNITIES' PARTICIPATION IN SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT:
MANGYSTAU REGION CASE STUDY****B.M. Pazylkhaiyr**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

✉ Correspondent-author: bauyrzhan.pazylkhaiyr@gmail.com

This study examines the vital role of local community involvement in promoting sustainable tourism development in Kazakhstan's Mangystau region. By applying a SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, threats) analysis, the research evaluates the effects of community participation on tourism efforts, highlighting both the challenges and potential advantages. The study concludes that active engagement by local communities enriches the authenticity of the tourism experience, helps preserve cultural heritage, and ensures fair economic distribution. However, the region encounters significant challenges such as inadequate infrastructure, limited marketing capabilities, and a shortage of tourism-related skills among residents. The results underscore the importance of strategic planning, capacity building, and cooperation among government agencies, local communities, and private entities to advance sustainable tourism in Mangystau. This strategy is essential for balancing economic growth with environmental and cultural conservation, ultimately positioning Mangystau as a prominent destination for sustainable and cultural tourism in Central Asia.

Keywords: Mangystau, sustainable tourism, local communities, Kazakhstan, tourism**ТУРИЗМНІҢ ТҰРАҚТЫ ДАМУЫНА ЖЕРГІЛІКТІ ҚОҒАМДАСТЫҚТАРДЫҢ ҚАТЫСУЫ:
МАҢҒЫСТАУ ОБЛЫСЫНЫҢ МЫСАЛЫНДА****Б.М. Пазылхайыр**

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

e-mail: bauyrzhan.pazylkhaiyr@gmail.com

Бұл зерттеуде Қазақстанның Маңғыстау облысында туризмнің тұрақты дамуына жәрдемдесуде жергілікті қауымдастықтардың қатысуының маңызды рөлі қарастырылады. SWOT талдауының көмегімен (күшті және әлсіз жақтары, мүмкіндіктері мен қауіптері) зерттеу жергілікті қауымдастықтардың қатысуының туристік қызметке әсерін бағалайды, проблемалар да, ықтимал артықшылықтар да ерекшеленеді. Мақала жергілікті қауымдастықтардың белсенді қатысуы туристік тәжірибені байытады, мәдени мұраны сақтауға көмектеседі және әділ экономикалық бөлуді қамтамасыз етеді деген қорытындыға келді. Алайда, аймақ инфрақұрылымның жеткіліксіздігі, маркетингтің шектеулі мүмкіндіктері және жергілікті тұрғындар арасында туризмге байланысты дағдылардың жетіспеушілігі сияқты маңызды қиындықтарға тап болады. Нәтижесінде, Маңғыстауда тұрақты туризмді ілгерілету үшін стратегиялық жоспарлаудың, әлеуетті арттырудың және мемлекеттік мекемелер, жергілікті қауымдастықтар мен жеке құрылымдар арасындағы ынтымақтастықтың маңыздылығын көрсетеді. Бұл стратегия экономикалық өсу мен қоршаған орта мен мәдениетті сақтау арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ету үшін қажет, бұл сайып келгенде Маңғыстауды Орталық Азиядағы тұрақты және мәдени туризмнің көрнекті бағыты ретінде көрсетеді.

Түйін сөздер: Маңғыстау, тұрақты туризм, жергілікті қауымдастықтар, Қазақстан, туризм

УЧАСТИЕ МЕСТНЫХ СООБЩЕСТВ В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ ТУРИЗМА: НА ПРИМЕРЕ МАНГИСТАУСКОЙ ОБЛАСТИ

Б.М. Пазылхайыр

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

e-mail: bauyrzhan.pazykhaiyr@gmail.com

В данном исследовании рассматривается важная роль участия местных сообществ в содействии устойчивому развитию туризма в Мангистауской области Казахстана. С помощью SWOT-анализа (сильные и слабые стороны, возможности и угрозы) в исследовании оценивается влияние участия местных сообществ на туристическую деятельность, выделяются как проблемы, так и потенциальные преимущества. В исследовании делается вывод о том, что активное участие местных сообществ обогащает туристический опыт, помогает сохранить культурное наследие и обеспечивает справедливое экономическое распределение. Однако регион сталкивается со значительными проблемами, такими как неразвитая инфраструктура, ограниченные маркетинговые возможности и нехватка навыков, связанных с туризмом, среди местных жителей. Результаты подчеркивают важность стратегического планирования, наращивания потенциала и сотрудничества между государственными учреждениями, местными сообществами и частными структурами для продвижения устойчивого туризма в Мангистау. Эта стратегия необходима для обеспечения баланса между экономическим ростом и сохранением окружающей среды и культуры, что в конечном итоге позиционирует Мангистау как выдающееся направление устойчивого и культурного туризма в Центральной Азии.

Ключевые слова: Мангистау, устойчивый туризм, местные сообщества, Казахстан, туризм

Introduction. Sustainable tourism development focuses on ensuring that tourism's benefits are fairly distributed among all stakeholders while minimizing its adverse effects on the environment, culture, and society. In emerging tourism areas like Mangystau, Kazakhstan, the active involvement of local communities is crucial to meet sustainable tourism goals. This article delves into the role of local communities in the sustainable tourism development of Mangystau, utilizing a SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) analysis to thoroughly explore their participation and potential outcomes [1-3].

Situated in southwestern Kazakhstan, the Mangystau region is a place of striking natural beauty, rich historical significance, and unique cultural heritage. Renowned for its vast deserts, dramatic landscapes, and ancient monuments, the region holds significant potential for tourism development. However, with the growing global emphasis on environmental sustainability, it is essential that the region's tourism growth aligns with sustainable principles. This article delves into

the challenges and opportunities associated with fostering sustainable tourism in Mangystau [4,5].

Achieving sustainable development requires a balanced approach across economic, environmental, and social dimensions, though different societies and communities may have varying perspectives on how to achieve this. The World Tourism Organization, for instance, has set guidelines that aim to balance the needs of the tourism sector with environmental protection and cultural heritage preservation. These guidelines promote sustainability principles, such as making tourist attractions accessible to all and assigning responsibility for their upkeep to local governments and communities. Additionally, a portion of tourism revenue should be reinvested in maintaining and improving these sites. Tourism strategies should also focus not only on immediate financial returns but also on long-term plans for protecting cultural heritage [6,7].

However, achieving this balance in practice is often difficult. Many small businesses in the

tourism industry focus on short-term profits at the expense of environmental and cultural preservation. At the same time, politicians may implement environmental regulations to maintain their political standing, yet still permit tourism developments that damage the environment and local culture. Therefore, it is crucial for stakeholders in the tourism sector—such as businesses, agencies, NGOs, and local communities—to participate in the development process. While this collaboration is challenging, if these groups can agree on a common vision, they can move toward sustainable tourism that maintains balance across all elements. Nonetheless, involving local communities in the long-term planning of tourism is difficult, as they often face negative impacts from business activities. Reaching a consensus that ensures fairness across all aspects of sustainable tourism remains a significant challenge [6,8].

Sustainable tourism is often viewed as a more considerate approach to tourism, characterized by small-scale operations that are sensitive to the natural environment. This concept emphasizes the importance of minimizing tourism's impact on both culture and the environment, while also ensuring that the local community is actively involved, particularly in decision-making processes. As the strategies for park protection have evolved, it has become increasingly important to address sustainable tourism development. In many academic discussions, sustainable development models frequently highlight the need for stakeholder collaboration, with a particular focus on involving local communities from the early development stages [9, 10].

Kazakhstan is actively pursuing sustainable development across three main areas: social, economic, environmental. The country has outlined specific actions for these initiatives to the international community and played a significant role in the United Nations summit in 2015. Kazakhstan has established a comprehensive legal framework for environmental protection, which includes over 200 additional regulatory documents and around ten laws. The introduction of the Ecological Code in 2007 led to the repeal of

several earlier laws, such as "On Environmental Protection," "On Atmospheric Air Protection," and "On Ecological Expertise." Nevertheless, current executive activities still rely on previously established bylaws. Additionally, there is a notable lack of legislation requiring environmental audits, waste management for production and consumption, or mandatory environmental insurance [11-12].

Materials and methods. This research examines the role of active community involvement in the sustainable tourism development of the Mangystau region, with a focus on the key factors that either facilitate or obstruct this process. The hypothesis posits that local community participation is essential for achieving sustainable tourism, as it enhances the authenticity of the tourism experience, preserves cultural heritage, and ensures fair distribution of economic benefits. However, the process is hindered by challenges such as inadequate infrastructure, limited marketing resources, and a lack of tourism-related skills among community members.

To tackle these challenges, the research will follow a multi-stage approach, starting with an in-depth literature review on sustainable tourism, community participation, and the specific conditions in the Mangystau region to identify relevant theories and frameworks. This will be followed by a SWOT analysis to assess the internal strengths and weaknesses, along with the external opportunities and threats related to local community participation in tourism development. The final stage will synthesize the findings to draw conclusions on the role of local communities in sustainable tourism, resulting in a comprehensive report that includes the SWOT analysis, key insights, and strategic recommendations. Several authors, as Huang and Wei (2024) Cankül et al. (2024) Uchiyama and Kohsaka (2021) have used SWOT analysis method in their work [1-3].

The study is expected to demonstrate that local community participation is a critical component of sustainable tourism in the Mangystau region. Anticipated findings include identifying strengths, such as the region's rich cultural heritage and community knowledge that contribute to authentic

and sustainable tourism experiences; recognizing weaknesses, like insufficient infrastructure and limited marketing capabilities, that hinder tourism growth; identifying significant opportunities in niche tourism markets like eco-tourism and cultural tourism that align with global trends and benefit the community; and understanding potential threats, such as environmental degradation

and cultural erosion, which could jeopardize the sustainability of tourism in the region. These insights will help develop strategic recommendations to enhance local community participation, address current challenges, and ensure sustainable tourism development in the Mangystau region. The author developed a conceptual framework for the research to achieve the study's outcome (Fig.1).



Fig. 1 - Research conceptual framework

Study field. Mangystau is located in the southwestern part of Kazakhstan (Fig. 2), and a region renowned for its rich history, cultural significance, and natural beauty. The landscape is marked by vast deserts, unique rock formations, underground mosques, and the Caspian Sea coastline. Historically, Mangystau served as a

critical crossroads for traders and travelers, leaving behind a rich array of cultural and archaeological treasures. Despite these natural and cultural assets, Mangystau remains relatively unknown as a tourist destination in Kazakhstan, presenting both challenges and opportunities for sustainable tourism development [4,5,13].



Fig. 2 – The location of Mangystau region [13]

The region is home to a diverse population with communities that have maintained their traditions, languages, and customs for generations. These communities play a pivotal role in Mangystau’s sustainable tourism strategy, as their participation

can significantly enhance the authenticity and sustainability of tourism initiatives. To maximize this potential, it is essential to assess the strengths, weaknesses, opportunities, and threats associated with local community involvement in tourism.

Table 1 outlines the protected natural areas in the and the government bodies responsible for their Mangystau region, highlighting their size, location, management.

Table 1 - Mangystau region’s specially protected natural areas [14]

№	The name of specially protected natural areas	Area, hectare	Location	Authority
1	Ustyurt State Nature Reserve	223342	Karakiyansky district	Forestry and Wildlife Committee Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan
2	Aktau-Buzachinsky State Nature Reserve (zoological)	170000	Tupkaragan district	Forestry and Wildlife Committee Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan
3	Karakiya-Karakol State Nature Reserve (zoological)	137500	Karakiyansky district	Forestry and Wildlife Committee Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan
4	Kenderli-Kayasan State Protected Area	1230290	Karakiyansky district	Forestry and Wildlife Committee Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan
5	Mangyshlak Experimental Botanical Garden	39	Aktau city	Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan

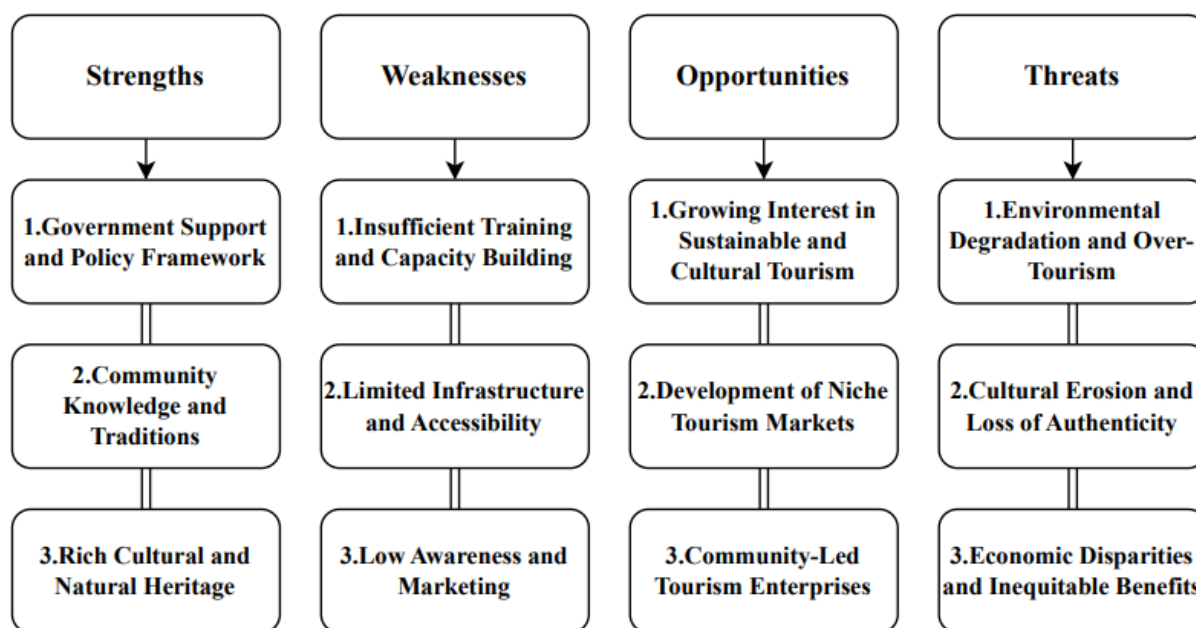


Fig. 3 – SWOT analysis result [2]

Results and discussion. By utilizing the SWOT framework, the research will systematically evaluate the internal and external factors affecting sustainable tourism in the Mangystau region. Additionally, existing data from government reports, academic journals, and industry publications will be analyzed to support the primary data findings.

Fig. 3 offers a SWOT analysis of tourism development, emphasizing strengths such as government backing and cultural richness, while also noting weaknesses like limited training and infrastructure. It outlines opportunities in sustainable tourism and community-driven initiatives, and recognizes threats including environmental damage and cultural loss. This analysis provides a strategic perspective on factors affecting tourism development [15].

Strengths. The Kazakh government prioritizes tourism for economic diversification and has implemented policies to promote sustainable tourism, including investments in infrastructure and eco-friendly practices. Mangystau is rich in cultural landmarks, including the Beket-Ata Underground Mosque, Shakpak-Ata Necropolis, and ancient petroglyphs. These sites provide a deep insight into the region's history and identity, forming a strong foundation for cultural tourism. The region's natural landscapes, such as deserts, cliffs, and the Caspian Sea coastline, are home to rare species, making it an ideal spot for eco-tourism. Landmarks like the Karagiye Depression and Ustyurt Plateau attract adventure tourists and nature enthusiasts. Local communities maintain a rich cultural heritage through traditional crafts, music, dance, and oral histories, which can be integrated into tourism to offer visitors an authentic experience and support local economies. Indigenous knowledge of the region's natural and cultural resources is crucial for sustainable tourism. Local guides can share insights into historical sites, traditional uses of plants, and the spiritual significance of natural landmarks. Mangystau region has specially protected natural areas (Table 2), which can be popular places for the tourists.

Weaknesses. The region's vast distances between

attractions, underdeveloped road networks, and lack of public transportation make it challenging for tourists to explore. The scarcity of diverse accommodations and essential services like restaurants and visitor centers further limits tourism growth. Mangystau is not widely recognized as a tourist destination, and local communities often lack the resources and expertise for effective marketing. This hinders the region's ability to attract tourists and generate revenue. Many locals have limited experience in tourism, particularly in hospitality and foreign languages. Although some training programs exist, ongoing education is needed to meet industry standards and support sustainable tourism development.

Opportunities. With increasing global interest in sustainable and cultural tourism, Mangystau's rich heritage and diverse ecosystems position it well to attract tourists seeking authentic and eco-friendly experiences. The region's rugged landscapes are ideal for adventure tourism, while its religious sites can draw pilgrims. There is also potential for health and wellness tourism, leveraging natural hot springs and tranquil environments. Empowering local communities through tourism enterprises ensures that the economic benefits are shared equitably. Social enterprises and cooperatives can create jobs for marginalized groups and reinvest profits into community development.

Threats. Without careful management, tourism growth could lead to environmental degradation, over-tourism, and strain on infrastructure. Waste and pollution are particular concerns, especially in remote areas with limited infrastructure. The commercialization of cultural practices for tourism can lead to a loss of authenticity and cultural erosion. It is essential to preserve the region's cultural identity while promoting tourism. Over-reliance on tourism as a primary economic driver can make local communities vulnerable to external shocks, such as economic downturns or natural disasters. Diversifying the economy and developing resilience strategies are necessary for long-term stability.

Problems in Developing Sustainable Tourism. The environment of Mangystau is defined by fragile desert ecosystems that are highly vulnerable to

damage. The region's arid climate and limited water resources make it especially susceptible to the impacts of tourism. Unregulated tourism activities can result in pollution, habitat destruction, and the depletion of these scarce natural resources. Achieving a balance between tourism development and the preservation of these sensitive ecosystems is a major challenge [16].

Mangystau currently lacks the infrastructure needed to support a significant increase in tourist numbers. The region's roads, public transportation, accommodations, and waste management systems are underdeveloped, making it challenging to meet the needs of both tourists and local residents.

Developing this infrastructure in a sustainable way requires substantial investment and careful planning to ensure it meets regional needs without exacerbating environmental issues [17-18].

Developing sustainable tourism requires a solid understanding of environmental conservation and community involvement. In Mangystau, there is a lack of local expertise in sustainable tourism practices, which can hinder the effective implementation of such initiatives. Additionally, without proper education and training, local communities may not fully benefit from tourism or might unintentionally contribute to environmental degradation.

Table 2 – Strategic Framework for Sustainable Tourism Development in Mangystau

Strategic Objective	Action Steps	Expected Outcome	Key Stakeholders
Enhance Infrastructure	Upgrade roads, develop eco-lodges, improve public transportation	Increased accessibility and comfort for tourists	Government, private sector, local communities
Promote Cultural Heritage	Create and promote cultural festivals, invest in preserving historic sites	Increased tourist interest in cultural sites, preservation of traditions	Government, local communities, NGOs
Develop Niche Markets	Identify and promote adventure tourism, health and wellness tourism, and religious tourism	Diversification of tourism offerings, attraction of niche markets	Tourism operators, local entrepreneurs, international marketing partners
Foster Community-Led Enterprises	Provide training and financial support for community-run guesthouses, craft cooperatives, and guided tours	Increased community empowerment, equitable distribution of tourism benefits	Local communities, NGOs, microfinance institutions
Ensure Environmental Sustainability	Implement strict waste management protocols, limit visitor numbers in sensitive areas, promote eco-friendly tourism activities	Preservation of natural resources, reduction of tourism-related degradation	Environmental agencies, local communities, eco-tourism organizations
Marketing and Global Awareness	Develop a comprehensive digital marketing strategy, engage with international travel bloggers, and partner with global eco-tourism organizations	Improved global and domestic recognition of Mangystau as a tourist destination	Government, digital marketing firms, international tourism bodies

While sustainable tourism seeks to balance economic development with environmental and cultural preservation, this balance can be difficult to achieve. The initial costs of creating sustainable infrastructure and training programs can be high and the financial returns may not be immediate. Moreover, ensuring that tourism generates sufficient income to support local communities without overexploiting resources requires careful management.

Mangystau is home to a rich cultural heritage with deep-rooted traditions and customs. If not managed carefully, the influx of tourists can lead to the erosion of these cultural values and practices. There is a risk that tourism could commercialize or exploit cultural elements, resulting in a loss of authenticity. It is crucial to ensure that tourism development respects and preserves local culture for sustainable growth [16,18].

Strategic Framework for Sustainable Tourism Development. Sustainable tourism in Mangystau is a powerful tool for environmental protection, economic development, and cultural preservation, with local communities playing a central and indispensable role in its success. The enhancement of infrastructure, such as roads and eco-lodges, not only makes the region more accessible and comfortable for tourists but directly benefits local communities, who are crucial to the development process. By actively participating in promoting cultural heritage through festivals and the preservation of historic sites, local residents are empowered to take pride in their traditions, sharing them with visitors while safeguarding these cultural elements from disappearing (Table 2).

The development of niche markets, including adventure, wellness, and religious tourism, provides local entrepreneurs with unique opportunities to create and offer experiences that are deeply rooted in the region's distinct characteristics. Community-led enterprises, such as guesthouses, craft cooperatives, and guided tours, ensure that the economic benefits of tourism are distributed equitably among residents, enhancing community empowerment and fostering a strong sense of ownership over Mangystau's natural and cultural

resources.

Environmental sustainability is another critical pillar, with local communities playing a vital role in implementing eco-friendly practices like strict waste management and controlling visitor numbers in sensitive areas. This collaboration helps preserve Mangystau's unique landscapes and biodiversity, attracting environmentally conscious tourists and contributing to long-term economic stability that benefits the community.

A comprehensive digital marketing strategy, involving local communities and connecting with international travel bloggers and global eco-tourism organizations, can significantly boost Mangystau's recognition as a premier tourist destination. This not only stimulates the local economy but also ensures that tourism development aligns with the values and needs of the residents. By involving local communities in every aspect of tourism planning and development, sustainable tourism in Mangystau guarantees that economic growth, cultural preservation, and environmental protection are achieved in a way that prioritizes the well-being of current residents and secures a thriving future for generations to come. This community-centered approach helps prevent the adverse effects of over-tourism, such as environmental degradation and cultural erosion, and supports the creation of a resilient tourism industry that meets the long-term needs of the region and its people.

Conclusion. The Mangystau region of Kazakhstan offers a unique opportunity for sustainable tourism development, where the active participation of local communities is both vital and necessary. The SWOT analysis reveals that while the region has considerable strengths in its cultural and natural heritage, it also faces significant challenges related to infrastructure, marketing, and capacity building.

Sustainable tourism involves the planning and management of tourism activities in a way that ensures the long-term preservation of the environment, promotes social equity, and supports economic sustainability. It focuses on reducing negative impacts on the environment and local communities while maximizing benefits for all

involved. In Mangystau, sustainable tourism would mean protecting the region's natural and cultural assets while promoting economic development and enhancing the well-being of local residents.

The tourism industry in Mangystau is still in its early stages. The region is home to attractions like the Ustyurt Plateau, the coastline of the Caspian Sea, the Karagiye Depression, and various historical sites such as the underground mosques of Beket-Ata and Shakpak-Ata. Despite these attractions, the region has yet to emerge as a prominent tourist destination, primarily due to inadequate infrastructure, accessibility challenges, and limited promotional efforts.

The sustainable development of tourism in Mangystau hinges on active local participation, as the region faces numerous environmental, cultural, and economic challenges. The delicate desert ecosystems are particularly vulnerable to the adverse effects of uncontrolled tourism, which can lead to pollution, habitat destruction, and resource depletion. Addressing these issues requires thoughtful investment in sustainable infrastructure, such as eco-friendly accommodations and efficient waste management systems.

- Cultural preservation is also paramount, given Mangystau's rich heritage. By involving local communities in tourism planning, the region can ensure that development respects and promotes its cultural traditions. Community-based tourism can empower residents by providing alternative sources of income and fostering cultural exchange.
- Eco-tourism and cultural tourism present significant opportunities for Mangystau, attracting visitors who value environmental conservation and cultural appreciation. The Kazakhstan government, in collaboration with the private sector, can support these initiatives by enacting policies that promote sustainability and by providing incentives for eco-friendly businesses.
- Public-private cooperation is crucial for financing infrastructure projects and ensuring equitable distribution of tourism benefits. Additionally, raising awareness about sustainable tourism practices among tourists, local communities, and

businesses is essential for fostering a culture of sustainability.

- Finally, ongoing research and monitoring are necessary to track the impact of tourism on the environment and local communities, enabling data-driven decision-making to address emerging challenges.

Local participation is key to ensuring that tourism development in Mangystau is not only economically beneficial but also environmentally and culturally sustainable.

To achieve sustainable tourism development, it is crucial to address these weaknesses and threats through strategic planning, capacity building, and active community involvement. Empowering local communities to take ownership of tourism initiatives, providing them with the necessary skills and resources, and ensuring that tourism development aligns with their cultural values and environmental concerns are vital steps toward a sustainable and inclusive tourism future for Mangystau.

By leveraging the region's strengths and capitalizing on new opportunities, Mangystau can establish itself as a leading destination for sustainable and cultural tourism in Central Asia. However, this will require a collaborative effort between local communities, government agencies, and international partners to create a tourism model that not only attracts visitors but also preserves the region's cultural and natural heritage for future generations. The success of sustainable tourism in Mangystau ultimately hinges on the ability of all stakeholders to work together toward shared goals, ensuring that tourism benefits are equitably distributed and that the region's unique cultural and environmental assets are protected and celebrated.

The development of sustainable tourism in the Mangystau region presents significant challenges as well as promising opportunities. Although the region faces environmental, infrastructural, and cultural obstacles, the potential benefits of sustainable tourism—including environmental protection, economic growth, cultural preservation, community empowerment, and long-term sustainability—are

substantial. By addressing these challenges and leveraging the advantages, Mangystau can create a tourism industry that not only attracts visitors but also preserves the region's heritage.

Developing sustainable tourism in the Mangystau region presents a promising opportunity for economic growth, environmental protection, and cultural preservation. By adopting a comprehensive approach, that balances the needs of tourists, local communities, and the environment, Mangystau has the potential to become a leading example of sustainable tourism in Kazakhstan and beyond. With

the right strategies and investments, the region can attract international visitors while safeguarding its unique heritage for future generations.

Financing. *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR21882122 “Sustainable Development of Natural-Industrial and Socio-Economic Systems of the West Kazakhstan Region in the Context of Green Growth: A Comprehensive Analysis, Concept, Forecast Estimates and Scenarios”).*

References

1. Huang T., Wei J. Management strategies for museum night opening in China: a SWOT-TOWS analysis of Shanghai museums // *Cogent Social Sciences*. -2024. -Vol. 10(1). DOI:10.1080/23311886.2024.2327857
2. Cankül D., Cankül I., Aktepe B. Meal sharing economy: evaluation with SWOT analysis from host and local food tourists perspectives // *Journal of Foodservice Business Research*. -2024. -P. 1–22. DOI: 10.1080/15378020.2024.2387388
3. Uchiyama Y., Kohsaka R. Strategies of Destination Management Organizations in Urban and Rural Areas: Using Text Analysis Method for SWOT Descriptions at Meta-level // *International Journal of Hospitality & Tourism Administration*. -2021. -Vol. 24(1). -P. 123-141. DOI: 10.1080/15256480.2021.1953422
4. Ämirbaeva A.A., Ryskulov S.K., Ahmetova K.A. Qazaqstannyñ Mañğystau oblysynyñ auyldyq turizminyñ äleueti resurstary. *Agrarlyq naryq problemalary*. -2023. –Vol. 2. -P.71-80. <https://doi.org/10.46666/2023-2.2708-9991.07> [in Kazakh]
5. Sabirova R.K., Andabaeva G.K., Mahanova A.N. Mañğystau öñirinde turizm türlerin damytu jäne onyñ auyldyq aumaqtardy damytuğa äseri. *Central Asian Economic Review*. -2022(5), -P.142-154. <https://doi.org/10.52821/2789-4401-2022-5-142-154> [in Kazakh]
6. Morea, J. P. Environmental justice, well-being and sustainable tourism in protected area management. *Journal of Ecotourism*. -2021. -Vol. 20(3). -P. 250-269. DOI:10.1080/14724049.2021.1876072
7. Prayitno G. et al. Social capital for sustainable tourism development in Indonesia // *Cogent Social Sciences*. -2023. -Vol. 10(1). DOI:10.1080/23311886.2023.2293310
8. Nyiwul L. et al. Adoption of tools for sustainable tourism development: role of environmental vulnerability // *Journal of Policy Research in Tourism Leisure and Events*. -2024. -P. 1–23. <https://doi.org/10.1080/19407963.2024.2317908>
9. Hossain M.I., Kumar J., Islam Md.T. Antecedents of Sustainable Tourism Development in Sundarbans, Bangladesh with the Moderation of Political Instability and Mediation of Destination Resilience // *Tourism Planning & Development*. -2024. -P. 1–29. DOI:10.1080/21568316.2024.2347222
10. Gani, A., Khairil, A., Mohamad, A., Samdin, Z. Attributes of successful public participation in planning for sustainable tourism in protected areas: A modified delphi study. -2015. –Vol. 23. –P. 49-64.
11. Altaibayeva, Z., Pfeifer N., Shelomentseva V. & Khamzina Sh. Assessment of the attractiveness and

problems of the Territorial Natural Recreational Systems of North-East Kazakhstan by the population // Bulletin of the Karaganda University. Economy series. -2021. -Vol. 4(104), -P. 4-12. DOI:

<https://doi.org/10.31489/2021ec4/4-12>

12. Pazylkhaiyr B., Assipova Zh.M., Bertocchi D. Development of tourism environmental management in Kazakhstan based on successful international experience // Bulletin of the Karaganda university economy series. -2023. -Vol. -110(2). -P. 79–89. DOI 10.31489/2023Ec2/79-89

13. Welcome.kz. Unknown Mangystau Off-Road Tour -2024. [Online]. Available:

<https://welcome.kz/en/adventure/off-road-tours/unknown-mangystau-off-road> [Accessed: Aug. 24, 2024].

14. Adilet. Ob utverjdenii perechnya osobo ohranyaemih prirodnih territorii respublikanskogo znacheniya. -2017. [Online]. Available: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000593> [Accessed: Aug. 24, 2024].

15. Font-Barnet A., Andreu M.N.-L. Research on tourism, well-being, and nature: a bibliometric analysis // Anatolia an International Journal of Tourism and Hospitality/Anatolia an International Journal of Tourism and Hospitality Research. -2021. -Vol. 34, -№ 2. -P. 163–175. DOI:10.1080/13032917.2021.2002699

16. Harish P., Rao Y.V. Research on sustainable tourism and biodiversity: a bibliometric analysis // Anatolia. -2024. -P. 1–21.

17. Kusumawardhani Y. et al. Smart tourism practice in the scope of sustainable tourism in emerging markets: a systematic literature review // Cogent Social Sciences. -2024. -Vol. 10(1).

DOI:10.1080/23311886.2024.2384193

18. Niewiadomski P., Mellon V. Transitioning towards sustainable tourism in the Outer Hebrides: an evolutionary investigation // Tourism Geographies. -2023. -Vol. 26(2). -P. 214–236. DOI

10.1080/14616688.2023.2283730

Information about the author

Pazylkhaiyr B.M. – Senior teacher of Department of Recreation geography and tourism, Research Fellow, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: bauyrzhan.pazylkhaiyr@gmail.com.

Сведения об авторах

Пазылхайыр Б.М. – старший преподаватель кафедры рекреационной географии и туризма, научный сотрудник, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, e-mail: bauyrzhan.pazylkhaiyr@gmail.com.

INDUSTRIAL AND INNOVATIVE DEVELOPMENT: CHALLENGES AND PROSPECTS FOR KAZAKHSTAN (analytical review)**¹A.S. Baktymbet, ²S.S. Baktymbet, ³M.M. Idrisov, ⁴A. Serikkyzy**✉¹Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,²Academy of Political Management, Astana, Kazakhstan,³Institute of Industrial Development, Almaty, Kazakhstan,⁴ALMAU, Almaty, Kazakhstan

✉Corresponding author: a.serikkyzy@almau.edu.kz

This paper explores the dynamics of industrial and innovative development with a focus on Kazakhstan. It begins by examining the principles guiding industrial and innovative strategies in foreign countries, setting a comparative backdrop. The analysis then shifts to Kazakhstan, detailing the major challenges confronting its manufacturing industry, including structural inefficiencies and market constraints. Further, the paper delves into the complexities and risks within Kazakhstan's oil and gas sector, highlighting both the obstacles and potential growth areas. Finally, it assesses the prospects and threats facing the country's mining and metallurgical complex, offering insights into future trends and strategic recommendations. This comprehensive review provides a nuanced understanding of Kazakhstan's industrial landscape and offers a framework for navigating its evolving economic environment.

Key words: industrial development, innovative strategies, manufacturing challenges, economy growth, risks, prospects.

РАЗВИТИЕ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИННОВАЦИЙ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ КАЗАХСТАНА (аналитический обзор)**¹А.С. Бактымбет, ²С.С. Бактымбет, ³М.М. Идрисов, ⁴А. Серікқызы**✉¹Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, г. Астана, Казахстан,²Академия политического менеджмента, г. Астана, Казахстан,³Институт развития промышленности, г. Алматы, Казахстан,⁴Университет ALMAU, Алматы, Казахстан,

e-mail: a.serikkyzy@almau.edu.kz

В данной статье рассматриваются динамика промышленного и инновационного развития с акцентом на Казахстан. Сначала анализируются принципы, руководствующие промышленными и инновационными стратегиями в зарубежных странах, что создает сравнительный контекст. Затем внимание переключается на Казахстан, где подробно рассматриваются основные проблемы, с которыми сталкивается его производственный сектор, включая структурные неэффективности и рыночные ограничения. В дальнейшем статья исследует сложные вопросы и риски в нефтегазовом секторе Казахстана, подчеркивая как препятствия, так и потенциальные области для роста. Наконец, оцениваются перспективы и угрозы, с которыми сталкивается горнодобывающий и металлургический комплекс страны, предлагаются рекомендации по стратегии и прогнозирование будущих тенденций. Этот всесторонний обзор предоставляет глубокое понимание промышленного ландшафта Казахстана и предлагает основу для навигации в его развивающейся экономической среде.

Ключевые слова: промышленное развитие, инновационные стратегии, проблемы производства, экономический рост, риски, перспективы.

ӨНЕРКӘСІП ЖӘНЕ ИННОВАЦИЯНЫҢ ДАМУЫ: ҚАЗАҚСТАННЫҢ ҚАУІПТІЛЕРІ МЕН БОЛАШАҒЫ (аналитикалық шолу)

¹Ә.С. Бақтымбет, ²С.С. Бақтымбет, ³М.М. Ыдырысов, ⁴А. Серікқызы✉

¹Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана қ, Қазақстан,

²Саяси менеджмент академиясы, Астана қ, Қазақстан,

³Өнеркәсіптік даму институты, Алматы қ, Қазақстан,

⁴Алматы менеджмент университеті, Алматы қ, Қазақстан,

e-mail: a.serikkyzy@altau.edu.kz

Бұл мақалада Қазақстанға баса назар аудара отырып, өнеркәсіптік және инновациялық даму динамикасы қарастырылады. Алдымен шет елдердегі өнеркәсіптік және инновациялық стратегияларды басқаратын принциптер талданады, бұл салыстырмалы контекст жасайды. Содан кейін назар Қазақстанға ауысады, онда құрылымдық тиімсіздіктер мен нарықтық шектеулерді қоса алғанда, оның өндірістік секторының алдында тұрған негізгі проблемалар егжей-тегжейлі қарастырылады. Одан әрі мақала Қазақстанның мұнай-газ секторындағы күрделі мәселелер мен тәуекелдерді зерттеп, кедергілерді де, өсу үшін әлеуетті салаларды да атап көрсетеді. Ақырында, елдің тау-кен және металлургия кешенінің болашағы мен қауіптері бағаланады, стратегия бойынша ұсыныстар және болашақ тенденцияларды болжау ұсынылады. Бұл жан-жақты шолу Қазақстанның өнеркәсіптік ландшафтын терең түсінуге мүмкіндік береді және оның дамып келе жатқан экономикалық ортасында навигация үшін негіз ұсынады.

Түйін сөздер: Өнеркәсіптік даму, инновациялық стратегиялар, өндіріс проблемалары, экономикалық өсу, тәуекелдер, перспективалар.

Introduction. The global landscape of industrial and innovative development is continuously evolving, influenced by varying national strategies and economic conditions. As nations adapt to shifting technological advancements and market demands, understanding these dynamics becomes crucial for assessing their own industrial policies and growth trajectories. This paper provides an in-depth examination of industrial and innovative development principles, contrasting them with the unique challenges and opportunities faced by Kazakhstan.

Beginning with an overview of successful industrial strategies employed by foreign states, the study sets the stage for a comparative analysis. It then shifts focus to Kazakhstan, exploring the significant hurdles encountered by its manufacturing sector, which include structural

inefficiencies and competitive pressures. The paper further investigates the complex landscape of Kazakhstan's oil and gas industry, identifying key risks and potential growth avenues. Additionally, it assesses the prospects and existing threats within the mining and metallurgical complex, offering a comprehensive view of the sector's evolving landscape.

By integrating international perspectives with a detailed analysis of Kazakhstan's industrial environment, this paper aims to provide valuable insights for policymakers, industry leaders, and researchers interested in understanding and shaping Kazakhstan's economic future.

Methods. Principles of industrial-innovative development in foreign states. If we look at international experience, we can identify common

principles and approaches for organizing and implementing state policies in industrial-innovative development.

1. System of industrial-innovative development management.

Industrial countries generally have a similar organizational structure for state management of industrial development. The main elements of this structure are:

1) Clear legislative regulation of industrial policy, which allows for centralized and balanced industrial policy throughout the country, systematizes and focuses the process and conditions of state support for industry.

2) A central government body responsible for industrial development policy, related services, and their promotion in international markets (its tasks include formulating industrial-innovative development policy considering the state's strategic priorities, creating a comprehensive system of incentives and support measures for industrial-innovative projects and industrial clusters, conducting trade policy aimed at creating opportunities for expanding existing and new productions).

3) A coordinated system of institutions supporting industrial-innovative development, including industrial development funds or agencies.

4) Large state or national private companies, specifically designated by the state, with powers to attract investments and implement large industrial projects and establish production in new sectors.

5) A unified scientific, technological, and innovation policy, directed by plans, strategies, and programs of sectoral ministries and agencies.

2. Focus on high-value-added exports rather than commodities.

The experience of countries (Ireland, Canada, Vietnam, Botswana, Saudi Arabia, Morocco) that have successfully diversified their economies shows that state support is often complemented by a comprehensive export-oriented industrial policy, focused on high-value-added manufacturing sectors and products, through investments in

productivity, human capital, transportation-logistics infrastructure, and technology transfer.

In Ireland, the export growth of manufacturing products between 2010 and 2016 was 174 [1]. This was supported by a state policy focused on business development. For instance, the country has established a favorable tax regime and provides financial assistance for the creation of companies and their entry into international markets.

Another example is Vietnam, where the government has introduced a new economic development model since 2010, involving restructuring of industry and services, with an emphasis on supporting the production of high-tech goods [1]. This led to the formation of a favorable investment regime, significantly increasing foreign direct investment and creating 135 industrial and export zones [1].

Canada has developed a state support system for exporters with key elements including [2]:

- Consulting services for Canadian companies on research and target market selection abroad (export preparation, market potential assessment, network identification, and problem-solving).

- The MY TCS online platform – access to market information and business opportunities.

- The Can Export program – financial support for a wide range of export operations to increase the competitiveness of Canadian companies, providing up to 50 million dollars over 5 years in direct financial support for small and medium-sized exporters, funding companies from any sector, covering 50% of expenses.

- Financial support for business associations to create or expand international cooperation.

- Business Women in International Trade – providing targeted products and services for women entrepreneurs aiming to enter global markets.

Canadian Technology Accelerators – supporting high-growth Canadian companies ready to enter global ICT and clean technology markets [2].

Thus, the key driver for export diversification is the private sector, and states support their enterprises to develop and expand their export

capabilities through increased access to external markets beyond their small domestic economies. In many countries, industrial growth is linked to creating favorable conditions for access to large developed markets (e.g., export subsidies, tax breaks, and easier financing). High-value-added exports stimulate the production of quality goods, work, and services, accelerates economic development, attracts foreign capital into the manufacturing sector, and helps diversify revenue sources in unstable global commodity markets.

3. International cooperation through integration into global value chains.

Global value chains (GVCs) refer to the sequence of operations in which products and services, undergoing various stages of development and processing in different countries due to the global nature of the economy, gain value (from the consumer's perspective).

Almost all countries aim to integrate into global value chains, which enables technology transfer and enhances the country's industrial potential. However, developing countries must adhere to free market rules – offering the best quality at minimal cost [3].

4. Development of value chains through attracting global players in manufacturing sectors.

Transnational companies play a crucial role in global value chains. The acceleration of globalization and the worldwide distribution of available raw materials, cheap labor, and potential markets have led transnational companies to benefit from maintaining geographically separated production facilities, research and development centers, and markets. The primary value is created not in the physical production of goods but in high-tech areas with a concentration of highly qualified labor.

Conversely, concentrating highly qualified specialists, scientific infrastructure, and engineering systems in manufacturing industries allows countries to increase competencies in advancing in the value chain, moving from lower to middle and upper-tier production. The main distinctions of these product categories are the complexity of the

produced goods and their dependence on primary raw materials.

Lower-tier products typically use primary raw materials directly, whose prices are often set on commodity exchanges and are fluctuating, leading to variability in production volume and export depending on external conditions. On the other hand, middle and upper-tier products have more stable production and are less dependent on primary raw material prices, as high technology and scientific labor constitute a larger portion of their cost.

Therefore, developing countries focus on creating attractive offers for transnational companies, balanced by the "price/quality" criterion. Key aspects of integrating into global value chains include developing a strong scientific-technological base, building a qualified workforce, effectively using opportunities within international integration associations, developing trade agreements with promising partners, and implementing cluster policies to enhance value chains and competitiveness within the country.

In Kazakhstan, further integration into global value chains is necessary, with an expansion of cooperation with existing and new transnational companies. Developing relationships with transnational companies already operating in Kazakhstan should be based on mutually beneficial cooperation considering Kazakhstan's interests. This will be achieved through expanding the range of produced goods and deepening production to diversify and complicate the country's economy.

It should be noted that several global transnational companies (e.g., Arcelor Mittal, POSCO, LOTTE, Schneider Electric) are currently operating in the country [1]. However, these companies are either working with Kazakh enterprises in lower-tier production, outdated products, or have just begun fruitful cooperation. Therefore, a balanced and planned approach to cooperation with transnational companies is needed to develop and deepen existing cooperation. A notable example of integration into global value chains in Kazakhstan is the limited liability partnership "POSUK Titanium," which produces titanium slabs that are subsequently

supplied to Boeing through the value chain [1].

Attracting new transnational companies should also align with the state's interests in achieving set goals, specifically producing new high-value-added goods and exporting to global markets through the distribution channels of transnational partners.

5. Implementing tools for attracting global players to integrate into global value chains.

One of the primary tasks for attracting foreign investors should be focusing on global leaders in manufacturing industries that have their distribution channels in the global value chain.

Investment planning and integration into global

value chains will include implementing a unified map of priority goods and services. This tool involves identifying a list of the most promising goods/product groups for localization within the country, considering workforce, technological, and raw material availability, as well as export markets.

This list of goods addresses both state and business interests. From the state's perspective, priority goods will focus on expanding product range, diversification, and complexity of production. For businesses, the list can serve as a guide for creating new productions with growth potential and entry into external markets.

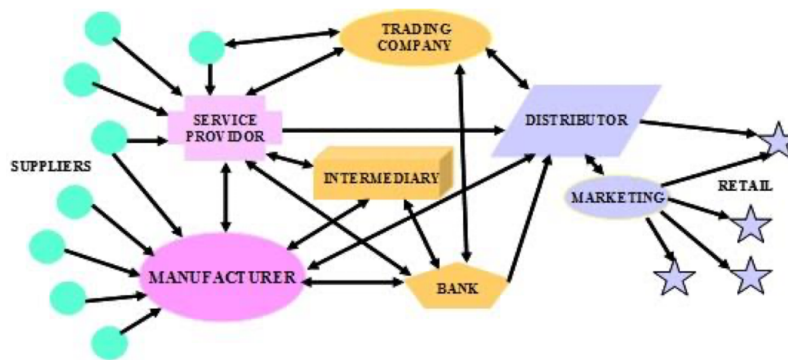


Figure 1 - Global value chains, commodity chains and production networks [3].

6. Development of new production types for value addition in the market and export.

The use of rare and rare-earth metals is crucial in complex industries such as electronics, medicine, and computer manufacturing. The development of finished products from these metals reflects the technological advancement of the industry.

Currently, global demand for rare-earth elements is around 120,000 tons per year [4]. However, the global market for rare-earth metals is almost monopolized by Chinese production. Supply restrictions are negatively impacting other countries' industries. Consequently, major economies actively using rare-earth metals (USA, Russia, Japan, Germany) are planning to reduce their dependency on Chinese supplies. An example of this shift is the agreement between the United States and Australia for joint mining and processing of minerals, including rare-earth metals [5].

Constant technological progress increases global demand for rare-earth metal products. Moreover, upper-tier products, which involve high value addition and technological complexity, are also significant.

Kazakhstan has substantial reserves and prospects for expanding its mineral resource base of rare and rare-earth metals. The republic's production of these metals is carried out at specialized enterprises.

Currently, the industry urgently needs investments, primarily for improving infrastructure in mining regions. With effective use of rare and rare-earth minerals, Kazakhstan can develop modern science and technology sectors and market these metals globally.

Results. Trends and challenges in Kazakhstan's manufacturing industry.

In 2022, the manufacturing sector's output totaled

21.2 trillion tenge. The main contributors to the manufacturing industry are metallurgy (44% of the total sector), food production (19%), machine engineering (15%), construction materials production (6%), and chemical industry (4%) [6].

Manufacturing accounts for 13.4% of the country's GDP. In this regard, Kazakhstan remains a net importer for all categories of goods except metallurgy. The highest net imports are observed in machine engineering (7.6 trillion tenge), the chemical industry (1.4 trillion tenge), and food production (0.9 trillion tenge) [6].

The observed underutilization of production capacities indicates a low level of competitiveness among domestic manufacturers: 70% of manufacturing enterprises have an average annual capacity utilization rate of no more than 70%, and the average annual capacity utilization rate in the machine engineering sector has fluctuated between 25% and 48% in recent years. [6].

Key challenges facing Kazakhstan's manufacturing industry.

1. Low complexity of produced goods.

- Despite overall sector development, the share of raw materials in exports remains at 66%, while the proportion of local manufacturing enterprises engaged in innovative activities is only 14.8%. Consequently, Kazakhstan has a negative economic complexity index (-0.47) and ranks 88th out of 133 countries in this indicator, trailing behind neighboring countries with similar economies (Russia - 53rd place (0.19), Turkey - 40th place (0.61), and Belarus - 29th place (0.91)) [7].

- In Kazakhstan, the depth of processing in raw material sectors is low, with most products being exported as intermediate raw materials. For example, 77% of lead, 87% of aluminum, and 99% of copper are exported in an unprocessed or minimally processed state [8].

- Despite having a raw material base, Kazakhstan has not developed a significant gas or petrochemical sector, and only in 2022 was the first large-scale gas chemical project launched. Raw materials from Tengiz, Kashagan, and Karachaganak contain high levels of fatty gas fractions (ethane, propane,

butane) necessary for gas chemical production. Currently, fatty fractions are only extracted from raw materials from the Tengiz field, which supplies polypropylene production (KPI) [8].

Additionally, existing enterprises face raw material unavailability and shortages: the volume of imported raw materials and components for the manufacturing sector exceeds 50%, which increases production costs and creates barriers to establishing high-tech manufacturing. For instance, imports constitute a significant portion of raw materials and components for industrial equipment, vehicles, and agricultural machinery, while the main output in machine engineering comprises simple assembly operations with minimal localization.

- The insufficient level of international technology and standard implementation in production is another factor reducing the economic complexity index. This process requires technological upgrades and substantial investments, which, in turn, affects the competitiveness of domestic products.

2. Wear and low energy efficiency of production.

- The average level of wear is 41%, with higher levels in the production of metal products, beverages, weapons, military equipment, and other machine engineering products exceeding 45% [8].

- Energy costs in Kazakhstan's mining and metallurgical complex are among the highest in the world. With energy intensity at 1.6 tons of oil equivalent per thousand USD, Kazakhstan's products lag significantly behind developing and developed markets, where this figure ranges from 0.2 to 0.9 tons of oil equivalent per thousand USD [8].

Discussion. Problems, risks, and opportunities in Kazakhstan's oil and gas sector. Oil and gas production continues to have a significant impact on Kazakhstan's economy: in 2022, the sector's gross added value (GAV) amounted to 11% of GDP, with the sector's share in total goods exports exceeding 50%, and in net investment inflow – almost 40% [8].

Annually, oil production prospects in Kazakhstan fall short of expectations. According to the

current forecast, considering the modernization of production at major fields, peak production is expected to reach 104 million tons by 2030. Among the existing major fields, the most significant decline in production is anticipated at Kashagan: in 2021, its expected peak production volume was reduced by 40% compared to the 2017 forecast [8].

Additionally, one of the challenges is the depletion of deposits. For instance, according to international experts' forecasts, several major companies within KazMunayGas are expected to see a 15-30% decline in production by 2030. In this context, sustainable reduction in production and the closure of depleting fields are critical both from environmental and social perspectives. Moreover, in the medium term, there is a risk of a shortage of oil raw materials in addition to the expected gas deficit in 2024-2025, as local demand is met by the KazMunayGas fields [8].

International experts note that from 2017 to 2022, the forecast for production at fields in the development and exploration stages also dropped from 65 to 6 million tons [8]. The attractiveness of exploring and developing new fields is limited by the pricing of raw material supplies to the domestic market.

In addition to resource base constraints, the risk of raw material shortages is exacerbated by the rapid growth in fuel consumption in Kazakhstan. Per capita diesel fuel consumption (about 30% of the demand for petroleum products) significantly exceeds that of neighboring countries. Moreover, fuel prices in Kazakhstan are among the lowest in the region and the world, and the creation of common oil, gas, and petroleum product markets within the EAEU in 2025 could lead to a flow of lubricants to neighboring countries, further reducing domestic fuel availability. According to the analytical company IHS Markit, if the current consumption trajectory remains, by 2025, the demand for petroleum products will reach 19 million tons of refined oil and exceed the capacities of oil refineries [8].

There are several opportunities for developing additional supply corridors through the Trans-Caspian and Chinese routes. Current oil

transshipment through the Aktau port is 2.2 million tons per year with the port's technical capacity at 7 million tons per year (available volume - 4.8 million tons). The Atasu - Alashankou pipeline handles about 11 million tons per year, including 10 million tons of transit. The technical capacity of this pipeline is approximately 17.5 million tons per year (available volume - 6.5 million tons) [8].

In the gas transportation system, existing constraints mainly concern transportation for domestic consumption. There is significant wear and load on several key infrastructure facilities, such as the Beineu - Bozoy - Shymkent pipeline and underground gas storage facilities.

Prospects and threats for Kazakhstan's mining and metallurgical complex.

Kazakhstan's mining and metallurgical complex (MMC) is one of the key drivers of the country's economic growth: in 2022, the total gross added value (GAV) from metal mining, coal, lignite, and other solid minerals (SMs), as well as the metallurgical industry, reached nearly 10% of the economy, and over 25% in exports.

However, the MMC faces key challenges and opportunities that will determine its future development.

Kazakhstan is experiencing low levels of reserves prepared for development, insufficient replenishment of reserves, a decline in average ore content and increased complexity in processing ore bodies. The availability of prepared copper reserves is 10-12 years; chromite reserves suitable for open-pit mining have been depleted; the availability of proven iron ore reserves suitable for open-pit mining is 20-25 years.

A critical factor affecting the situation is the low activity in geological exploration. The legal reform in the mineral resource sector has drastically changed its regulatory framework, providing more competitive access to subsoil resources.

Currently, only 16% of the country's territory available for exploration has been licensed. In 2022, the unit costs for geological exploration in Kazakhstan were only \$63 per km², which is significantly lower than the global average (\$88 per

km² for metals) and the figures for leading mining countries such as the USA, Canada, and Australia (\$170 - \$300 per km²) [8].

In addition to the insufficient replenishment of existing reserves, the country has significant unrealized potential in the most rapidly growing and promising metals used in modern batteries and electronics: nickel, cobalt, and lithium. Another rapidly growing and unrealized category in Kazakhstan is rare earth metals.

Another challenge for the sector is the rising cost of labor. Since 2000, the average cost per employee in the MMC has increased sevenfold, reaching \$1,190 per month. However, wage increases have not been accompanied by a comparable rise in labor productivity in the sector, which remains at a relatively low level: in 2020, labor productivity in Kazakhstan was \$62,000 per employee per year, compared to \$114,000 in Peru and \$160,000 - \$200,000 in developed countries (Norway, Australia, Canada, Ireland, Sweden) [8].

Transportation and logistics constraints, such as the distance from key markets, resulting in complex and costly logistics, as well as risks related to the limited export transportation corridors, negatively impact the competitiveness of Kazakhstan's MMC products.

Conclusion. In conclusion, the interplay between industrial and innovative development strategies is pivotal in shaping the economic future of nations. This paper has provided a comparative

overview of global industrial practices and analyzed the specific challenges and opportunities faced by Kazakhstan. The examination of Kazakhstan's manufacturing sector reveals critical inefficiencies and competitive constraints that require targeted reforms and strategic investments. Similarly, the analysis of the oil and gas sector highlights both significant risks and promising growth opportunities that must be carefully managed to ensure sustainable development.

The insights into Kazakhstan's mining and metallurgical complex underscore the need for a balanced approach to harness its potential while mitigating associated threats. By integrating international best practices with a thorough understanding of local contexts, Kazakhstan can better navigate its industrial and economic challenges.

Ultimately, the path forward for Kazakhstan involves leveraging its existing strengths, addressing critical vulnerabilities, and adopting innovative strategies to foster long-term growth and stability. This comprehensive analysis serves as a foundational guide for policymakers, industry stakeholders, and researchers dedicated to advancing Kazakhstan's industrial capabilities and economic resilience.

Financing. This work was financially supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant AP1968020, 2023–2025).

References

1. The Government of the Republic of Kazakhstan (2019). State Program for Industrial-Innovative Development of the Republic of Kazakhstan for 2020-2025. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1900001050> (date of application - 16.09.2024)
2. Grigorieva E. Supporting the Export of Agricultural Products in Canada. -2016. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sodeystvie-eksportu-produktsii-apk-v-kanade> (date of application - 16.09.2024)
3. Todeva E., Rakhmatullin R. Industry Global Value Chains, Connectivity and Regional Smart Specialisation in Europe. -2016. –URL: http://www.bcned.co.uk/images/reports/research/JRC102801_ifna28086enn.pdf (date of application - 16.09.2024)
4. Metal Mining The Rare Earth Metals: From Strength to Compactness. -2017. URL:

<https://metalmininginfo.kz/archives/4688> (date of application - 16.09.2024)

5. Prokhorov I. The Rare Earth Metals Market Shows Steady Growth. -2017. URL:

<https://www.gmprom.kz/analytics/rynok-redkozemelnyh-metallov-pokazyvaet-ustojchivyyj-rost/>

(date of application - 16.09.2024)

6. Ministry of industry and construction of the Republic of Kazakhstan Growth in Kazakhstan's manufacturing industry reached 4.1%. -2024. URL:

<https://www.gov.kz/memleket/entities/mps/press/news/details/727688?lang=en>

(date of application - 16.09.2024)

7. Karimov E. Economic Complexity Index: India and Kazakhstan. -2024. URL: <https://economy.kz/?p=5210>

(date of application - 16.09.2024)

8. The Government of the Republic of Kazakhstan The National Development Plan of the Republic of Kazakhstan until 2029. -2024. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2400000611> (date of application - 16.09.2024)

Information about authors

Baktymbet A.S. - c.e.s., assistant professor at the 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;

Idrisov M.M. - Director of the Institute of Industrial Development, Almaty, Kazakhstan, e-mail: m.idrissov.kz@gmail.com;

Serikkyzy A. - PhD, associate professor ALMAU, Almaty, Kazakhstan, e-mail:

a.serikkyzy@almau.edu.kz

Сведения об авторах

Бактымбет Ә.С. - к.э.н., доцент Казахского университета технологий и бизнеса, Астана, Казахстан e-mail: asembaktymbet@gmail.com;

Бактымбет С.С. – к.э.н., доцент, Академия политического менеджмента, Астана, Казахстан, e-mail: saule_sbs@mail.ru;

Идрисов М. М. – директор Института промышленного развития, Алматы, Казахстан email: m.idrissov.kz@gmail.com;

Серікқызы А. - PhD, ассоциированный профессор ALMAU, Алматы, Казахстан, e-mail:

a.serikkyzy@almau.edu.kz

БАҒАЛЫ ҚАҒАЗДАР НАРЫҒЫН МЕМЛЕКЕТТІК РЕТТЕУ МӘСЕЛЕЛЕРІ**Р.Қ. Елшібаев**

«Нархоз университеті» КЕАҚ, Алматы, Қазақстан

✉ Корреспондент-автор: rakymzhan.yelshibayev@bk.ru

Елімізде қор биржасының белсенділігі айтарлықтай арта түсті. Әсіресе жеке инвесторлар сегментінің кеңеюі байқалады. Ол елдегі экономикалық тұрақтылыққа, инфляция деңгейіне, халықтың нақты табысының өсуіне тікелей байланысты. Сондықтан да елдегі тұрақтылық, халықтың әл-ауқатын арттыру, экономикалық өсім, ақша-несие жүйесі, бизнес субъектілерінің белсенділігі басты назарда болуы тиіс. Жеке тұлғалардың бағалы қағаздарды сатып алуға қызығушылығының артуына пандемия да өзінің ықпалын тигізді. Жеке инвесторлар банктік депозиттерге баламалы көздерді, қосымша табыс табу жолдарын қарастыра бастады. Сонымен қатар брокерлік қызметтерді цифрландыру барлық қызығушылық танытқандарға инвестициялауға қол жетімділікті қамтамасыз етті.

2020 жылдан бастап екінші деңгейлі банктерге брокерлік қызметті жүргізуге рұқсат берілуі, олардың белсенділігін арттыра түсті. Қазір еліміздің жекелеген банктері (Халық банк, Банк Центр Кредит) мобильді қосымшалары арқылы бағалы қағаздарын сатуды іске асыра алады. Қазір тек ірі компаниялар ғана емес шағын және орта бизнес субъектілерінің де бағалы қағаздар нарығындағы белсенділігін жоғарылату бойынша жұмыстар жасалып жатыр. Сондықтан да бағалы қағаздар нарығына бастапқы кезеңде мемлекеттің араласуы, қолдау және реттеу бойынша жүйелі жұмыстар атқаруы өте маңызды.

Мақалада елімізде қор нарығын дамытудың қажеттілігі және мемлекеттік реттеу мәселелері қарастырылған. Бағалы қағаздар нарығын мемлекеттік реттеудің маңызы, негізгі мақсаты және іске асыру құралдары мен негізгі тәсілдері көрсетілген, сондай-ақ, өзекті мәселелері анықталып, оларды шешу жолдары ұсынылған.

Түйін сөздер: қор нарығы, бағалы қағаздар, эмитент, инвестор, трейдер, брокер, диллер, мемлекеттік реттеу, Қазақстандық қор биржасы.

ВОПРОСЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ**Р.К. Елшибаев**

НАО «Университет Нархоз», Алматы, Казахстан,

e-mail: rakymzhan.yelshibayev@bk.ru

В стране значительно возросла активность фондовой биржи. Особенно заметно расширение сегмента частных инвесторов. Это напрямую зависит от экономической стабильности в стране, уровня инфляции, роста реальных доходов населения. Поэтому в центре внимания должны быть стабильность в стране, повышение благосостояния населения, экономический рост, денежно-кредитная система, активность субъектов бизнеса. На рост интереса физических лиц к покупке ценных бумаг повлияла и пандемия. Частные инвесторы начали рассматривать альтернативные источники банковских депозитов, способы получения дополнительных доходов. Кроме того, цифровизация брокерских услуг обеспечила всем желающим доступ к инвестированию.

С 2020 года банки второго уровня получили разрешение на ведение брокерской деятельности, что повысило их активность. Сейчас отдельные банки страны (Народный банк, Банк Центр Кредит) могут осуществлять продажу ценных бумаг через мобильные приложения. Сейчас ведется работа по повышению активности на рынке ценных бумаг не только крупных компаний, но и субъектов малого и среднего бизнеса. Поэтому очень важно, чтобы государство на начальном этапе проводило системную работу по вмешательству, поддержке и регулированию рынка ценных бумаг.

В статье рассматривается необходимость развития фондового рынка и вопросы государственного регулирования в стране. Указаны важность, основная цель, инструменты и методы осуществления государственного регулирования рынка ценных бумаг, а также выявлены актуальные проблемы и предложены пути их решения.

Ключевые слова: фондовый рынок, ценные бумаги, эмитент, инвестор, трейдер, брокер, дилер, государственное регулирование, Казахстанская фондовая биржа.

ISSUES OF STATE REGULATION OF THE SECURITIES MARKET

R.K. Yelshibayev

JSC Narxoz University, Almaty, Kazakhstan,
e-mail: rakymzhan.yelshibayev@bk.ru

The activity of the stock exchange has increased significantly in the country. The expansion of the segment of private investors is especially noticeable. This directly depends on the economic stability in the country, the level of inflation, and the growth of real incomes of the population. Therefore, the focus should be on stability in the country, improving the well-being of the population, economic growth, the monetary system, and the activity of business entities. The pandemic also influenced the growing interest of individuals in buying securities. Private investors began to consider alternative sources of bank deposits, ways to generate additional income. In addition, the digitalization of brokerage services provided everyone with access to investing.

Since 2020, second-tier banks have received permission to conduct brokerage activities, which has increased their activity. Now individual banks of the country (Halyk Bank, Bank Center Credit) can sell securities through mobile applications. Now work is underway to increase activity in the securities market not only of large companies, but also of small and medium-sized businesses. Therefore, it is very important that the state at the initial stage carries out systematic work to intervene, support and regulate the securities market.

The article discusses the need to develop the stock market and issues of government regulation in the country. The importance, main goal, tools and methods of implementing state regulation of the securities market are indicated, and current problems are identified and ways to solve them are proposed.

Key words: stock market, securities, issuer, investor, trader, broker, dealer, state regulation, Kazakhstan Stock Exchange.

Кіріспе. Елімізде бағалы қағаздар нарығын дамыту және реттеу қаржы секторының тиімділігіне тікелей ықпал етеді. Сондықтан да бұл мәселе мемлекет басшысының басты назарында. Қор биржасының жеткілікті деңгейде дамымауы, халықтың қаржылық сауаттылығының төмендігі, бағалы қағаздармен жұмыс жасауда қажетті білімдер мен дағдылардың болмауы қарапайым халықтың алаяқтарға алдануына, қаржы пирамидасына сеніп қалуына алып келеді. Осыған байланысты бұл бағытта теориялық-әдістемелік, тәжірибелік, ғылыми ізденістердің қажеттілігі мен

маңыздылығы жоғары деп айтуға болады. Еліміз егемендігін алғаннан бастап қазіргі кезге дейін бағалы қағаздар нарығына қатысты бірқатар нормативтік-құқықтық актілер әзірленіп, жыл өткен сайын өзгерістер мен толықтырулар енгізіліп отырды. Соның нәтижесінде бағалы қағаздарды шығару мен айналымға енгізу бойынша экономикалық қатынастар жүйесінде жаңа құқықтық орта қалыптастырылды. Алайда бағалы қағаздар нарығын дамыту мен реттеудің жүйелі тәсілдерінің болмауынан бұл нарық бүгінгі таңда өзінің инвестициялық функциясын жеткілікті деңгейде орындай алмай отыр. Қазақстанның бағалы қағаздар нарығын дамыту мен мемлекеттік реттеу аясындағы іргелі зерттеулердің тапшылығы мәселенің өзектілігін көрсетеді.

Материалдар және әдістер. Зерттеу жүргізу барысында эмпирикалық, субъектілік-объектілік, жүйелік, дедуктивтік және салыстырмалы талдау әдістері қолданылды. Бұл әдістердің әрқайсысы сәйкес зерттеу міндеттерін шешу үшін функционалдық мүмкіндіктеріне байланысты пайдаланылды. Бұл зерттеуде теориялық-эмпирикалық әдістерді қолдану мемлекеттік реттеу объектісі ретінде Қазақстан Республикасы бағалы қағаздар нарығының экономикалық мәнін неғұрлым тереңінен түсінуге мүмкіндік берді.

Бағалы қағаздар нарығын мемлекеттік реттеу жүйесін инфрақұрылымдық қамтамасыз етуді зерттеу кезінде ақпаратты жинау әдісі және қажетті материалды тиімді іздеу, топтастыру, өңдеу және қорытындылау үшін абстрактілеу әдісі ішінара қолданылды.

Нарықтың негізгі экономикалық көрсеткіштерін зерттей отырып автор жүйелік және салыстырмалы талдау әдістерін қолданды.

Зерттеудің мақсаты – бағалы қағаздар нарығын мемлекеттік реттеу жүйесін жетілдіру және дамыту бағыттарын анықтау.

Зерттеу гипотезасы бағалы қағаздар нарығын реттеуді жетілдіру елімізде қор нарығын дамыту мен тартымдылығын жоғарылатуға мүмкіндік беретіндігімен сипатталады.

Мақаланың ғылыми жаңашылдығы бағалы қағаздар нарығын мемлекеттік реттеу қазіргі кез-

ге дейін қалай жүргізілді және алдағы уақытта қандай бағытта даму қажеттілігін айқындау, нарықтағы өзекті мәселелер және оларды шешу жолдарын ұсынуда көрініс тапқан.

Зерттеу нәтижелері. Мақаланың негізгі ғылыми нәтижесі бағалы қағаздар нарығын мемлекеттік реттеудің өзекті мәселелері анықталып, оларды шешу жолдары ұсынылды.

Бағалы қағаздар нарығы және оның жұмыс жасау механизмінің өзекті мәселелерін зерттеумен көптеген ғалымдар және практик-мамандар айналысып келеді. Зерттеу тақырыбы бойынша жарияланған еңбектердің көпшілігінде елімізде қолайлы инвестициялық ахуалды қалыптастыру арқылы халықтың әл-ауқатын жақсарту мәселелері қамтылған. Қор нарығын қарқынды дамытуда және тиімді қызметін қамтамасыз етуде бағалы қағаздар нарығының рөлі, мемлекеттің ықпал ету дәрежесі, қандай құралдар мен әдіс-тәсілдер арқылы жоғары нәтижелерге қол жеткізуге болатындығы жеткілікті деңгейде қарастырылмаған.

Нәтижелер мен талқылау. Бағалы қағаздар нарығы осындай қағаздардың эмиссиясы мен айналымы бойынша оның субъектілерінің арасындағы экономикалық қатынастар жиынтығын білдіреді. Бағалы қағаздар нарығының субъектілері ретінде эмитенттер, инвесторлар мен нарықтың кәсіби қатысушыларын айта аламыз [1].

Қазақстанда бағалы қағаздар нарығы екі үлкен бөлікке бөлінген: ұйымдастырылған бағалы қағаздар нарығы және ұйымдастырылмаған бағалы қағаздар нарығы.

Бағалы қағаздар нарығының қатысушыларын шартты түрде бірнеше топқа бөлуге болады:

1. Жеке және институционалдық инвесторлар.
2. Бағалы қағаздар шығаратын эмитенттер.
3. Бағалы қағаздар нарығының кәсіби қатысушылары (бағалы қағаздар нарығында қызметін жүзеге асыруға лицензиясы бар ұйымдар).
4. Сауданы ұйымдастырушылар (қор биржасы немесе орталық депозитарий) [2].

Бағалы қағаздар нарығын мемлекеттік реттеу - бұл бағалы қағаздар нарығы қатысушыларының іс-әрекетін реттеуге бағытталған мемлекет-

тің уәкілеттілік берген ұйымының іс-әрекеті.

Мемлекеттік реттеудің негізгі мақсаты – бағалы қағаздар нарығының одан әрі дамуы мен тиімді қызмет етуін қолдау. Ол келесілер арқылы қамтамасыз етіледі:

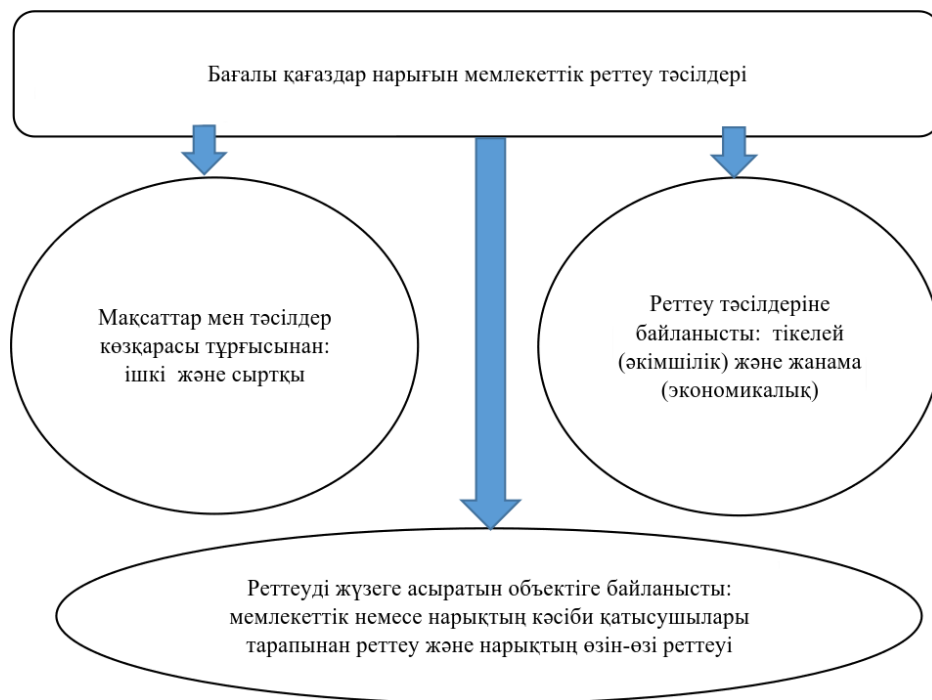
- нарықтың барлық қатысушыларының жұмысына қолайлы жағдай жасау және реттеу;
- нақты сұраныс және ұсыныс негізінде нарықтағы баға белгілеуге бақылау жүргізу;
- нарықтағы ойыншылардың тәуекелінің сыйақысы үшін әлеуетті капиталды қайта бөлудің тиімді механизмін жасау;
- контрагенттердің әртүрлі сипаттағы әділетсіз әрекеттерінен нарық қатсушыларын қорғау; Мә-

селен, әділетсіз бәсеке, инсайдерлік ақпаратпен сату, алаяқтық т.б. сақтау;

- бағалы қағаздар сферасында тиімді салық салу жүйесін қалыптастыру;
- жаңа нарықтарды ұйымдастыру, олардың құрылымдарын, бастамалары мен жаңашылдықтарын қолдау;
- бағалы қағаздар нарығын дамыту кезінде қоғамдық мүдделердің бұзылуына жол бермеу [3].

Бағалы қағаздар нарығын мемлекеттік реттеу тәсілдерін келесі сурет түрінде көрсетуге болады (1-сурет).

Бағалы қағаздар нарығын мемлекеттік реттеу тәсілдері



1 - сурет. Бағалы қағаздар нарығын мемлекеттік реттеу тәсілдері Ескерту – зерттеулер негізінде автормен әзірленген

«Бағалы қағаздар нарығы туралы» заңға сәйкес, мемлекеттік реттеу органдары келесідей міндеттерді шешуі тиіс:

- бағалы қағаздар нарығының кәсіби қатысушыларының, эмитенттердің қызметіне қатысты міндетті талаптарды және оның стандарттарын белгілеу;

- бағалы эмиссиялық қағаздар шығару мен эмиссиялар проспектісін тіркеу және ондағы қарастырылған шарттар мен міндеттемелерді эмитенттердің сақтауын бақылау;

- бағалы қағаздар нарығының кәсіби қатысушыларының қызметін лицензиялау;
- меншік иелерінің құқықтарын қорғау жүйесін

құру және олардың құқықтарын қаржы нарығының кәсіби қатысушыларының және эмитенттердің сақтауын бақылау;

- лицензиясыз кәсіпкерлік қызметпен айналысатын тұлғалардың іс-әрекетіне тиым салу және шектеу, сондай-ақ, бағалы қағаздар нарығы қатысушыларының кәсіби және білім деңгейін жоғарылатуды ұйымдастыру [4].

Жоғарыда айтып өткеніміздей бағалы қағаздар нарығын реттеуді нарық қатысушыларының өздері іске асыруы мүмкін. Ол үшін нарықтың кәсіби қатысушылары (брокерлер мен дилерлер) коммерциялық емес ұйымдарға бірігеді. Мұндай ұйымдардың мақсаты – бағалы қағаздар нарығын реттеу процесіне мемлекеттік реттеуші ұйымдармен бірге қатысу. Мұндай жағдайда мемлекет өздерінің реттеуші функцияларының бір бөлігін береді. Алайда мұндай ұйымдарды мемлекеттік деп атауға болмайды, оларды өзін-өзі реттеуші ұйымдар деп атайды [5].

Қазақстанда жалғыз толыққанды өзін-өзі реттейтін ұйым – Қазақстандық қор биржасы (KASE). Оның жарғысына сәйкес негізгі міндеттеріне мыналар жатқызылады:

- бағалы қағаздар нарығында кәсіби қызметтің қолайлы шарттарын қамтамасыз ету;
- нарықта кәсіби этика стандарттарын қолдау;
- мемлекеттік реттеу органдарында кәсіби қатысушылардың мүдделерін қорғау;
- бағалы қағаздармен операциялар жүргізудің ережелері мен стандарттарын белгілеу;
- олардың орындалуын бақылау [6].

KASE индексі қазақстандық бағалы қағаздар нарығының даму динамикасын сипаттайтын негізгі индикатор болып табылады.

Қазір қазақстандық қор биржасында келесідей қаржы құралдары айналымда жүр:

- жедел келісім-шарттар: стандартталған жеткізілмеген АҚШ долларындағы фьючерс;
- ҚР қаржы министрлігімен берілген мемлекеттік бағалы қағаздар;
- ҚР Ұлттық Банкімен берілген бағалы қағаздар;
- ҚР Қаржы министрлігінің мемлекеттік мүлік

және жекешелендіру департаментімен сатуға қойылған акциялардың мемлекеттік пакеті;

- Екінші деңгейлі банктердің депозиттік сертификаттары;
- Мемлекеттік емес бағалы қағаздар: облигациялар, жай, атаулы, артықшылығы бар акциялар.

Мемлекеттік бағалы қағаздардың табыстылығы жоғары емес, бірақ, олар сенімділіктің жоғары дәрежесін иеленеді. Сондықтан да халықтың бір тобы тәуекелге бармастан, өздерінің қаражаттарын осындай бағалы қағаздарға салу дұрыс деп есептейді.

Қазақстандық қор биржасында мемлекеттік бағалы қағаздармен сауда жасау тәсілі электрондық үздіксіз қарсы аукцион әдісі болып табылады. Ол қойылған бағамға сәйкес ең жақсы қарсы баға бойынша жасырын контр әріптеспен автоматты түрде мәміле жасауға негізделген. Сол себепті абстрактілеу әдісі көзқарасы тұрғысынан мемлекеттік бағалы қағаздар нарығының динамикасын бақылау едәуір күрделі және тиімсіз болып көрінеді.

Автордың пікірі бойынша, нарықты реттеу мен дамыту жөнінде мемлекеттік шаралардың тиімділігін бағалау үшін мемлекеттік емес бағалы қағаздардың едәуір динамикалық нарығына және оның институционалдық инвесторына назар аудару қажет. Сонымен қатар бағалы қағаздар нарығының дамуы елімізде қаржы секторының дамуымен тікелей байланысты екендігін атап өту қажет.

Елімізде қаржы секторын дамытудың негізгі жеті бағыты анықталған. Олар келесілер:

- қаржылық тұрақтылық және оған деген сенімді қолдау;
- тұрақты дамуға көшу (инновациялар, технологиялар, бизнес-модельдер мен құзіреттіліктер);
- қаржылық қызметті тұтынушылардың құқықтары мен мүдделерін қорғау;
- экономиканы қаржыландыру және банктік сектордың дамуы;
- қаржылық мүдделерді қорғау құралы ретінде сақтандыру нарығының дамуы;
- экономиканы қаржыландырудың қосымша каналы ретінде бағалы қағаздар нарығын дамыту;

- банктік емес сектор мен микроқаржыландыруды дамыту [7].

Қорытынды. Жүргізілген зерттеулер негізінде бағалы қағаздар нарығын дамыту мен мемлекеттік реттеу жүйесіндегі мынадай өзекті мәселелер анықталды:

- нарықтың шектеулі өтімділігі;
- нарық субъектілерінің қызметін реттейтін заңдар мен басқа да нормативтік құжаттардағы кемшіліктер;
- сапалы қаржылық құралдардың тапшылығы;
- акционерлер өз кәсіпорнын қор нарығына шығарған жағдайда оны жоғалтып алудан қорқуы және жариялы IPO дан бас тартуы;
- листингтік компаниялардың ашықтығының жеткілікті деңгейде болмауы;
- инвесторлардың, әсіресе портфельдік және шағын кәсіби емес инвесторлардың құқытары мен мүдделерін қорғаудың нақты механизмінің болмауы.

Отандық бағалы қағаздар нарығын қажетті деңгейде дамыту үшін мемлекеттің уәкілетті органы келесідей іс-шараларды жүзеге асыруы керек:

1. Отандық қор нарығында айналымда болатын өтімді және сенімді қаржылық құралдардың тізімін кеңейту.
2. Тәуекелдерді басқару жүйесінің сапасын жоғарылата отырып, заманауи IT-технологиялардың көмегімен кәсіби қатысушылардың жұмыс жасау әдістерін жетілдіру арқылы қаржылық қызмет көрсету сапасын арттыру.
3. Эмитенттер мен олардың лауазымды тұлғаларының облигацияларды шығару мен орналастыру талаптарын бұзғаны үшін жауапкершілікті жоғарылату.
4. Облигацияларды ұстаушылардың өкілдерінің рөлін көтеру және функцияларын кеңейту;
5. Қазақстандық қор биржасына эмитенттер мен

биржа мүшелеріне мониторинг жасау мақсатында қосымша функциялар беру.

Зерттеу тақырыбы бойынша жүргізілген ізденістер, ғылыми және іскерлік әдебиеттерді талдау мен қорытындылау нәтижесінде келесідей маңызды міндеттерді шешуге назар аудару қажеттілігі анықталды:

- Бағалы қағаздар нарығының тұрақтылығын арттыру. Яғни, бағалы қағаздар нарығындағы тәуекелдердің алдын алу және төмендету бойынша іс-шаралар әзірлеу. Бағалы қағаздар нарығындағы инвесторлардың мүдделері мен құқықтарын қорғауды қамтамасыз ету.
- Экономикалық интеграция жағдайында бағалы қағаздар нарығының тиімділігін жоғарылату. Бағалы қағаздар нарығында сұранысты ынталандыру мен көтеру, білікті инвесторлар институтының қызмет ету механизмін жетілдіру, брокерлік ұйымдардың функционалы мен мүмкіндіктерін кеңейту.
- Инфрақұрылымды жетілдіру және бағалы қағаздар нарығын сапалы дамыту үшін оңтайлы жағдай жасау. Эмитенттерге қойылатын листингтік талаптар мен қор биржасының ресми тізімінің құрылымын реформалау.
- Бағалы қағаздар нарығының әлеуетін кеңейту, соның ішінде экономиканың қажеттіліктеріне жауап беретін қаржылық өнімдер есебінен. Бағалы қағаздар нарығында ұсынысты қалыптастыру мен қолдау және эмитенттердің акцияларын алғашқы орналастыруға шығару.

Зерттеу тақырыбы бойынша белгілі бір шамада ғылыми ізденістердің жасалғанына қарамастан отандық бағалы қағаздар нарығының дағдарысқа тұрақтылығын жоғарылату және халықтың қайталама нарықтағы белсенділігін арттыру мәселесі аз зерттелген күйінде қалып отыр. Дегенмен жүргізілген зерттеулер мен жасалған ұсыныстар автордың келтірген гипотезасының дұрыстығын нақтылай түседі.

Әдебиеттер

1. Magill, M., Quinzii M. Normative properties of stock market equilibrium with moral hazard. Journal of Mathematical Economics. -2011.-Vol.44(7–8).- P. 785-806. <https://doi.org/10.1016/j.jmateco.2006.09.006>

2. Симинин Ю.Г. Правовое регулирование рынка ценных бумаг. Учебно-методическое пособие. – Костанай: КГУ имени А. Байтурсынова, 2012. - 92с.
3. Teall, J.L. Regulation of Trading and Securities Markets // Financial Trading and Investing. -2013.-Vol. 147. -Iss. 2. –P. 93-115. DOI:10.1016/B978-0-12-391880-2.00004-6
4. Закон Республики Казахстан «О рынке ценных бумаг» от 02.07.2003года № 461 (обновленный с изменениями и дополнениями по состоянию на 19.06.2024г.) URL: https://zakon.uchet.kz/rus/docs/Z030000461_
5. Cabán-García, M. The impact of securities regulation on the earnings properties of European cross-listed firms. The International Journal of Accounting. -2011. -Vol. 44(3). - P.279-304.
<https://doi.org/10.1016/j.intacc.2009.06.005>
6. Еркебаев, Р.К. Фондовые рынки и биржевое дело: Учебник. - Алматы: Принт-С., 2016. – 395 с. ISBN 978-601-289-048-8
7. Как будут развивать финансовый сектор в Казахстане до 2030года. // Курсив 02.07.2022. URL: <https://kz.kursiv.media/2022-07-02/kak-budut-razvivat-v-kazahstane-finansovyyj-sektor-do-2030-goda/>

References

1. Magill, M., Quinzii M. Normative properties of stock market equilibrium with moral hazard. Journal of Mathematical Economics. -2011. -Vol. 44.(7-8).- P.785-806
<https://doi.org/10.1016/j.jmateco.2006.09.006>
2. Siminin Ju.G. Pravovoe regulirovanie rynka cennyh bumag. Uchebno-metodicheskoe posobie. - Kostanaj: KGU imeni A. Bajtursynova, 2012. – 92s. [in Russian]
3. Teall, J.L. Regulation of Trading and Securities Markets // Financial Trading and Investing. -2013.-Vol. 147(2). - P. 93-115. DOI:10.1016/B978-0-12-391880-2.00004-6
4. Zakon Respubliki Kazahstan «O rynke cennyh bumag» ot 02.07.2003goda № 461 (obnovlennyj s izmenenijami i dopolnenijami po sostojaniju na 19.06.2024g.) URL: https://zakon.uchet.kz/rus/docs/Z030000461_ [in Russian]
5. Cabán-García, M. The impact of securities regulation on the earnings properties of European cross-listed firms. The International Journal of Accounting. -2011. -Vol. 44(3).- P.279-304.
<https://doi.org/10.1016/j.intacc.2009.06.005>
6. Erkebaev, R.K. Fondovye rynki i birzhevoe delo: Uchebnik. – Almaty: Print-S., 2016.-395 s. ISBN 978-601-289-048-8 [in Russian]
7. Kak budut razvivat' finansovyyj sektor v Kazahstane do 2030goda. // Kursiv 02.07.2022.
URL: <https://kz.kursiv.media/2022-07-02/kak-budut-razvivat-v-kazahstane-finansovyyj-sektor-do-2030-goda/> [in Russian]

Автор туралы мәліметтер

Елшібаев Р.Қ. – Экономика ғылымдарының кандидаты, Нархоз университетінің профессоры, Алматы, Қазақстан, e-mail: rakymzhan.yelshibayev@bk.ru

Information about the author

Yelshibayev R.K. – Candidat of Economic sciences, Professor of the University of Narkhoz, Almaty Kazakhstan, e-mail: rakymzhan.yelshibayev@bk.ru

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ECOTOURISM IN THE EAST KAZAKHSTAN REGION IN THE CONTEXT OF IMPLEMENTING THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**¹Zh.T. Konurbaeva, ¹S.N. Suiubayeva, ¹A.M. Zakimova, ¹L.A. Mezentseva,
²A.Zh. Turegeldinova✉, ²B.B. Amralinova**

¹D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,

²Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

✉Correspondent-author: a.turegeldinova@satbayev.university

This study is aimed at analyzing the development of ecological tourism in the natural territories of the East Kazakhstan Region (EKR) through a systemic approach to the implementation of the national concept of sustainable economic development in the Republic of Kazakhstan. The objective of the study is to conduct a comprehensive analysis and develop a strategy for the advancement of ecological tourism in this region. The research is based on the interrelation and influence of factors such as natural territories and tourist infrastructure. To achieve this objective, various research methods were employed, including the search for scientific materials across different platforms and a literature review on the research topic. The search for materials was conducted over three months, from January to May 2024. The research also incorporated both domestic and international experiences in sustainable tourism development. Additionally, the study involved a comparative analysis, SWOT analysis, and correlation-regression analysis of the impact of various tourism industry indicators on the region's GDP. The research findings emphasize the importance of preserving the natural and cultural heritage, as well as biodiversity, during the development of ecotourism, highlighting the significance of sustainable resource use, adherence to environmental standards, and principles of environmental responsibility. The study also underscores the critical role of local tour operators and the population in the development of ecotourism to preserve cultural heritage and ensure the sustainable development of ecological tourism in the East Kazakhstan Region, within the framework of the implementation of the sustainable economic development concept of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: sustainable tourism, ecotourism, destination, natural resources, cultural heritage, tourist infrastructure.

ЭКОТУРИЗМНІҢ ДАМУ БОЛАШАҒЫ ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ТҰРАҚТЫ ДАМУ КОНЦЕПЦИЯСЫН ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ ЖАҒДАЙЫНДА

**¹Ж.Т. Қоңырбаева, ¹С.Н. Сүйеубаева, ¹А.М. Закимова, ¹Л.А. Мезенцева,
²А.Ж. Төрегелдинова✉, ²Б.Б. Амралинова**

¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан,

²Қ.И. атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті. Сәтбаев, Алматы, Қазақстан,

e-mail: a.turegeldinova@satbayev.university

Зерттеу Шығыс Қазақстан облысының (ШҚО) табиғи аумақтарында экологиялық туризмнің дамуын талдауға бағытталған, бұл Қазақстан Республикасының ұлттық тұрақты экономикалық даму тұжырымдамасын жүзеге асыру үшін жүйелік тәсілді қолдануды көздейді. Зерттеудің мақсаты –

осы аймақта экологиялық туризмнің дамуына кешенді талдау жасау және стратегия әзірлеу. Зерттеу табиғи аумақтар мен туристік инфрақұрылым факторларының өзара байланысы мен әсеріне негізделген. Мақсатқа жету үшін әртүрлі зерттеу әдістері қолданылды: ғылыми материалдарды әртүрлі платформалардан іздеу жүргізіліп, зерттеу тақырыбы бойынша әдеби шолу жасалды. Материалдарды іздеу үш ай бойы жүргізілді: 2024 жылдың қаңтарынан мамырына дейін. Тұрақты туризмнің дамуына арналған материалдарда отандық және шетелдік тәжірибе зерттелді. Сонымен қатар, зерттеу барысында Шығыс Қазақстан облысындағы экологиялық туризмнің дамуына салыстырмалы талдау және SWOT-талдау жүргізілді, сондай-ақ, туристік саланың әртүрлі көрсеткіш-факторларының өңірдің ЖІӨ-не әсер етуіне корреляциялық-регрессиялық талдау жасалды. Зерттеу нәтижелері экотуризмді дамыту барысында табиғи-мәдени ұлттық мұраны және биологиялық әртүрлілікті сақтауға негізделген, бұл ресурстарды тұрақты пайдаланудың маңыздылығын, экологиялық стандарттарды сақтау және экологиялық жауапкершілік қағидаттарын баса көрсетеді. Сондай-ақ, экологиялық туризмді дамытуға жергілікті тuroператорлар мен халықтың қатысуы мәдени мұраны сақтауда және Шығыс Қазақстан облысында экологиялық туризмді тұрақты дамытуда маңызды рөл атқаратыны атап өтіледі.

Түйін сөздер: тұрақты туризм, экотуризм, дестинация, табиғи ресурстар, мәдени мұра, туристік инфрақұрылым.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКОТУРИЗМА ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

¹Ж.Т.Конурбаева, ¹С.Н.Суйеубаева, ¹А.М.Закимова, ¹Л.А.Мезенцева,
²А.Ж.Турегельдинова✉, ²Б.Б. Амралинова

¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан,

²Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И.Сатпаева, Алматы, Казахстан,

e-mail: a.turegeldinova@satbayev.university

Исследование направлено на анализ развития экологического туризма на природных территориях Восточно-Казахстанской области (ВКО) с использованием системного подхода для реализации национальной концепции устойчивого развития экономики Республики Казахстан. Цель исследования заключается в комплексном анализе и разработке стратегии развития экологического туризма в данном регионе. Исследование основывается на взаимосвязи и влиянии факторов: природных территорий и туристской инфраструктуры. Для достижения цели были применены различные методы исследования: проведён поиск научных материалов на различных платформах и сделан литературный обзор по теме исследования. Поиск материалов проводился в течение трёх месяцев: с января по май 2024 г. На материалах, посвященных теме развития устойчивого туризма, был изучен отечественный и зарубежный опыт. Также в ходе исследования был проведён сравнительный анализ и SWOT-анализ развития экологического туризма на территории Восточно-Казахстанской области, а также выполнен корреляционно-регрессионный анализ влияния на ВВП региона различных показателей-факторов из сферы туристской отрасли. Результаты исследования основываются на сохранении природно-культурного национального наследия и биологического разнообразия при развитии экотуризма, которые подчеркивают важность устойчивого использования ресурсов, соблюдения экологических стандартов и принципов экологической ответственности. Также отмечается важная

роль участия местных туроператоров и населения в развитии экотуризма для сохранения культурного наследия, обеспечения устойчивого развития экологического туризма в Восточно-Казахстанской области в рамках реализации концепции устойчивого развития экономики Республики Казахстан.

Ключевые слова: устойчивый туризм, экотуризм, дестинация, природные ресурсы, культурное наследие, туристская инфраструктура.

Introduction Tourism is one of the fastest-growing and most significant industries globally, serving as a primary source of income for many countries. Sustainable tourism is grounded in the principle of caring for the environment, society, and the economy. According to a report on environmentally safe travel published by Booking.com in honor of Earth Day 2023, 87% of travelers worldwide expressed a desire to travel sustainably. Sustainable tourism encompasses practices aimed at minimizing negative impacts while maximizing positive outcomes. It considers the needs of tourists as well as the requirements of host communities, local businesses, and the environment, thereby contributing to sustainable methods of transportation, accommodation in more environmentally friendly hotels, and the consumption of local and eco-friendly food products.

The positive impact on the destination (areas prioritized for development) includes job creation, the preservation and interpretation of cultural heritage, protection of pristine nature, and restoration of natural landscapes, among others. Conversely, negative consequences may include economic leakage and environmental degradation [1].

Sustainable tourism is defined by the United Nations Environment Program and the World Tourism Organization as "tourism that fully considers its current and future economic, social, and environmental impacts, addressing the needs of visitors, the industry, the environment, and host communities" [2]. Furthermore, sustainable tourism "refers to the environmental, economic, and socio-cultural aspects of tourism development, and it is necessary to establish an appropriate balance between these three aspects to ensure its long-term sustainability."

The World Tourism Organization also defines

sustainable tourism as "sustainable development that meets the needs of current tourists and host regions while protecting and enhancing opportunities for the future" [2]. It is expected that this will lead to the management of all resources in such a way that economic, social, and aesthetic needs can be met while preserving cultural integrity, essential ecological processes, biological diversity, and life-support systems.

The growth of the global population, coupled with the irrational use of natural resources, exerts a destructive impact on our planet, leading to climate change, destruction of nature, and increased pollution levels. Therefore, one of the sustainable development goals is to transform current unsustainable production and consumption patterns into those that do not harm the environment and resources.

Challenges and Prospects in Kazakhstan's Tourism Sector The Kazakhstan Tourism Association (KTA) believes that the challenges faced by the tourism industry can only be resolved through strong governmental support:

- the tourism infrastructure requires updating and refinement, including roads, airports, and hotels;
- Kazakhstan lacks small aviation services for tourists and helicopter tours;
- the tourist transportation system, especially in mountainous areas, is outdated, and modern, reliable, and comfortable buses are needed;
- a more active marketing campaign is necessary to attract foreign tourists, as well as support for tourists from countries not included in the visa-free list;
- efforts to develop tourism need to be intensified in the regions, including in the East Kazakhstan Region.

Another significant issue is the lack of qualified personnel in the industry. According to the Institute

of Economic Research (ERI), by the end of the 2022-2023 academic year, the number of students enrolled in educational programs such as "Tourism," "Cultural and Leisure Activities," and "Restaurant and Hotel Management" in Kazakhstan amounted to only 31 individuals. At the same time, the number of graduates in these specialties was only 1,760, which constitutes 11% of the total number of bachelor's degree graduates across all programs.

In July 2023, the Concept for the Development of the Tourism Industry for 2023-2029 was adopted in Kazakhstan. It aims to increase employment in this sector to 800,000 people and grow the gross value added in the industry to 6 trillion tenge. It is also planned to increase investment growth in accommodation and catering services to 260 billion tenge. All these measures are expected to increase the number of domestic tourists to 11 million by 2030 and inbound tourists to 4 million [3].

Systemic Approach to Ecotourism Development
An essential aspect of a systematic approach to studying the problems of ecotourism development is considering the seasonality of tourist demand and its distribution in the East Kazakhstan region, allowing for more efficient use of available resources and preventing excessive pressure on the region's ecosystems. The introduction of systematic analysis in the development of ecological tourism in the natural territories of the East Kazakhstan region will contribute to the sustainable development of the region's economy and the preservation of its unique natural and historical heritage.

The East Kazakhstan region has significant potential for developing various types of tourism, ranging from ecological to business tourism. This is facilitated by the rich history of the region, which has left many archaeological and historical monuments on its territory. This is ensured by the unique geographical location, where untouched corners of nature can be found in various landscapes, including on the Kalbinsky trail, where adventure tourism can be developed and implemented. This type of tourism is ideal for mountain explorers, adventure enthusiasts, and fans of an active lifestyle. It includes activities such as hiking, trekking, canyoning, exploring caves, diving, jeep tours,

buggy tours, and more, all directly related to discovering new things and overcoming challenges.

Historical and Cultural Significance
The territory of East Kazakhstan is the cradle of Turkic civilization. The region is home to more than 300 historical monuments. One unique archaeological site, unparalleled in Kazakhstan, is the Berel Mounds (Valley of the Kings) located in the Katon-Karagay district.

It is necessary to enhance the investment appeal of the region by developing a tourism cluster, which will allow for profit generation, increase tax revenues, and create new jobs in the region.

Materials and Methods
The source materials include the results of a marketing study conducted in the winter of 2024, where the respondents were residents of three countries: Kazakhstan, Russia, and China. The survey was conducted anonymously using the Google Forms platform. The technological cycle included six components: defining the research goal, developing the questionnaire, piloting, making adjustments, launching and conducting the survey, and evaluating and interpreting the results. The preferences of consumers who had undertaken tourist trips and received hospitality services were identified during the marketing study. The research methods included surveys, data grouping, comparison, and ranking.

The purpose of this research is to identify, analyze, and classify various factors influencing the development of ecotourism in the EKR and to analyze these factors based on a comprehensive analysis and the development of a strategy for ecological tourism development in the natural territories of the East Kazakhstan Region. The main focus is on applying a systematic approach that allows for the consideration of natural territories and tourist infrastructure in their interrelation, taking into account all factors and influences.

The research methodology included a questionnaire survey of Kazakh and foreign experts in the field of tourism services. Structural-functional analysis, cluster analysis, object-oriented approach, economic-statistical methods of data collection and processing, traditional methods of comparison and

generalization, and correlation-regression analysis of the influence of factor indicators on the final resulting indicator were used.

Additionally, structural-content analysis of texts describing the natural landscapes of Kazakhstan and the EKR, in particular, expert assessments, self-report methods, and extrapolation system methods were employed.

The research involved a scientific-methodological analysis, including thematic studies and a literature review. The significance of the presented indicators was studied based on the results of the questionnaire survey. Conclusions and recommendations for the development of tourism in the East Kazakhstan Region and general recommendations for further development of ecotourism in the Kalbinsky Ridge area are offered.

In addition to the comparative analysis, a SWOT analysis was also conducted during the research. These methods provided additional information and allowed for comparing the advantages and disadvantages of various approaches and practices.

The chosen research topic is highly relevant in the current conditions of sustainable tourism development, due to the growing interest in ecological domestic tourism.

The methodological and theoretical basis of the research is the system-structural analysis as an expression of dialectics. Structural-content analysis of various interpretations of the concept of "sustainable tourism" showed that it is advisable to include in the list of defining characteristics of sustainable ecotourism the following features:

- 1) Ensure the optimal use of natural resources, which are the main element of tourism development;
- 2) Respect and preserve cultural heritage and traditional values, contribute to intercultural understanding and tolerance;
- 3) Provide and fairly distribute socio-economic benefits for all participants: employment, income opportunities, social security.

Results and Discussion The literature review analyzed several studies dedicated to various aspects of tourism development in Kazakhstan and the

East Kazakhstan Region in particular. The authors of the studies consider various factors influencing the development of domestic ecotourism and offer recommendations and strategies for sustainable development to enhance the efficiency of the tourism industry in the region [4-6].

Global tourism is rapidly recovering after the pandemic [7]. According to the Bureau of National Statistics, the number of tourists in Kazakhstan in 2023 exceeded 62 million people. On September 1, 2023, in his Address, the President of Kazakhstan, Kassym-Jomart Tokayev, noted that "breakthrough projects should be implemented in the tourism sector." Indeed, in the latest global tourism ranking (The World Economic Forum), Kazakhstan currently ranks 66th out of 117 countries worldwide (previously, Kazakhstan held the 80th position) [8]. The state needs to invest in the development of local tourism, which will lead to a revival in the travel industry.

Rashida Shaikenova, Director of the Kazakhstan Tourism Association (KTA), believes that foreigners have started coming to Kazakhstan not only in summer but also throughout the year. Additionally, domestic tourism has become more active, which business has immediately responded to: local investors have begun investing in the tourism sector [9]. The second positive development is that tourism worldwide is finally returning to pre-pandemic levels. According to forecasts, in 2024, tourists are expected to make 15 billion trips globally – more than in 2019. This favorable trend is already reflected in Kazakhstan. The third important factor is the declared Year of Chinese Tourism in Kazakhstan. The Ministry of Tourism and Sports of the Republic of Kazakhstan has developed a comprehensive plan that includes about 35 events covering major cities in China: Beijing, Xi'an, Shanghai, Urumqi, Hong Kong, Hangzhou, Chengdu. Tourists from China have already entered the TOP-5 tourists who visited Kazakhstan in 2023: according to statistics for the first nine months of 2023, the total number of visitors from China to Kazakhstan exceeded 200,000 people [9].

For the first half of 2023, the amount of taxes from tourism amounted to 208 billion tenge. In

2023, tourism taxes amounted to 389 billion tenge. This indicates that tourism has become a significant source of income. According to the World Travel & Tourism Council (WTTC), the share of tourism in Kazakhstan's GDP in 2022 reached 3.9% of GDP,

and the country aims to increase the share of tourism in GDP to 8% by 2025 [10].

Over the past few years, the list of tourist destinations in Kazakhstan has doubled in table 1.

Table 1 – Ranking of priority tourism development areas in Kazakhstan by region

№	Tourist areas	Name of the settlement
1	Khan Ordasy	West Kazakhstan region
2	Kargalinskoye reservoir	Aktobe region
3	Shchuchinsko-Borovskaya resort area	Akmola region
4	Akbura	Akmola region
5	Imantau-Shalkar resort area	North Kazakhstan region
6	Bayanaul	Pavlodar region
7	Katon-Karagay resort area	East Kazakhstan region
8	Alakol resort area	Abai and Zhetisu regions
9	Turgen	Almaty and Almaty region
10	Kaskelen ski complex	Almaty and Almaty region
11	Koksai Resort	Zhambyl region
12	Lake Balkhash	Karaganda region
13	Turkestan	Turkestan region
14	Baikonur Cosmodrome	Kyzylorda region
15	Ulytau village	Ulytau region
16	Warm Beach	Mangistau region
17	Sarayshik settlement	Atyrau region
18	Center for Gastronomic Tourism	Shymkent
19	Expo Tourist Area	Astana

It should be noted that at present, thirteen new global trends in tourism development have emerged shown in table 2.

Table 2 – Characteristics of new tourism trends

№	Trend name	Characteristics of the trend
1	Sustainable tourism and conscious travel	Travel that minimizes impact on nature; supports regional economies and local residents. For hotels, sustainability includes using local products in the restaurant, implementing eco-friendly practices, saving energy, and sorting waste; hosting events that introduce local traditions, crafts, etc.
2	Immersion in local culture	Involving tourists in the life of the local population rather than observing it; growing interest in culture and history. A way to follow this trend is to connect with local communities.
3	Seeking unique gastronomic experiences	Gaining unique culinary experiences: the beauty of presentation, aroma, and taste of food, the atmosphere of the place. Gastronomic themes add color to the promotional campaigns of regions.

4	Self-discovery and learning new skills	Acquiring new knowledge and skills, developing wellness programs aimed at helping participants achieve harmony, develop creativity and communication skills, enrich their inner world.
5	Flexible booking and payment conditions	The COVID-19 pandemic has heightened the uncertainty factor in travel planning. It is necessary to offer booking conditions that allow tourists to change the date and/or destination without significant penalties.
6	Places where famous movies or TV series were filmed	Locations where "star" films were shot - tourist attractions. In Kazakhstan, this is the village of Teriberka. Interactive quests and reconstructions of scenes from films will add uniqueness to tours.
7	Travel for special occasions	Significant personal events become reasons for travel.
8	Emotional balance restoration	Growing demand for digital detox programs using practices for physical and mental recovery.
9	Spontaneous travel	Related to tourists' desire to explore unknown places and enjoy unplanned trips; the appeal of last-minute tours.
10	Countries and regions with a temperate climate	This trend arose in response to climate changes, due to which traditional beach resorts sometimes become too hot for comfortable rest; fans of cooler climates visit mountain resorts.
11	Visiting unexplored countries and regions (instead of popular ones)	Choosing alternative destinations instead of familiar ones (this trend applies to both beach resorts and mountains).
12	Attributes of "beautiful life" for budget travelers	A way to relax comfortably and brightly without significant expenses. The trend requires a balanced approach from tour operators and hotels in forming offers: base prices for trips accessible to a wide range of consumers should be complemented by a wide list of high-quality services.
13	Use of innovative technologies in travel planning	Statistics from Booking – 48% of travelers trust artificial intelligence (AI) to plan their trips (from 8% in the UK to 63% in the US). AI can quickly analyze large volumes of information, provide personalized recommendations, and optimize routes.

Sources: Expedia Group, Skyscanner, Booking

Tourism Operators and Sustainable Development
Tour operators contribute to the sustainable development of tourist areas by creating jobs for local residents. Additionally, they can include visits to special attractions (museums, workshops, etc.) that support local communities in their programs, and give tourists the opportunity to engage in environmental projects. All this will allow guests to feel involved in preserving the cultural and natural heritage of the regions they visit. Promoting programs based on the principles of sustainable tourism can become a unique feature that distinguishes the tour operator's product [11].

Competent marketing is crucial for the success of creating a new trend: in an advertising campaign, it is important to show the advantages of a new destination, emphasizing its uniqueness and, at the same time, its similarity to what is already known to the market [12].

The results of the literature review on the research topic can be used to form strategies and policies for the development of ecological tourism in the East Kazakhstan Region of the Republic of Kazakhstan. As EKR borders Russia and China, this gives good prerequisites for foreign travelers to visit the region. There are also excellent prospects for the domestic

tourist product of EKR. Among the main tasks that will bring success to travel agencies in this area are the development of roadside services, the opening of new accommodation facilities, and the improvement of existing ones. In the first place, these are private mini-hotels and guest houses. Tourism statistics in Kazakhstan claim that they have almost equaled traditional hotels in popularity.

From September 21 to 26, 2023, filming of the educational travel program "Orel and Reshka. Kazakhs" took place in the Katon-Karagay district. The filming was organized through the joint work with local executive bodies in such tourist destinations as: Osinovsky Pass, Rakhmanovskie Keys, the old Austrian road, and others. The episode is scheduled to air in the second quarter of 2024 on the "Jibek Joly" TV channel.

Several ski resorts are located near the cities of Ust-Kamenogorsk and Ridder: "Nurtau" and "Altai Alps" are the most famous among them.

"In East Kazakhstan, we have three major destinations for the development of ecotourism – Katon-Karagay, Ridder, and the Ulan district. Plus, the fourth – Ust-Kamenogorsk as the logistics hub of tourism in EKR," noted Mukhtar Toibazarov. The entrepreneur said that currently, about 15 antler therapy centers operate in EKR, which can receive no more than 6,750 people per season. All guest houses and hotels in the Katon-Karagay district can accommodate no more than 3,000 people.

"The entire population of Ulken Naryn is about 23,000 people. And for tourism to benefit the population of border areas, for it to be significant, we need tourists. And if there were at least 25,000 tourists, the entire district would feel it. If we had at least 70,000-100,000 tourists throughout EKR, the whole region would feel it, all hotels in Ust-Kamenogorsk would be filled, all restaurants would be full, and there would be a need to build new ones," concluded Mukhtar Toibazarov.

From January to September 2023, Kazakhstan was visited by 37% more foreign tourists than during the same period in 2022 - 8,349 thousand people - according to the Ministry of Tourism and Sports of the Republic of Kazakhstan. According to its data,

most tourists in the first nine months of 2023 came to Kazakhstan from [13]:

- Russia (356,850, 12% more than in January-September 2022);
- China (75,131, twice as many);
- Turkey (41,134, 2% less);
- India (34,757, 34 times more);
- USA (28,160, 15 times more).

The structure of visitors to the Republic of Kazakhstan is presented in Figure 1.

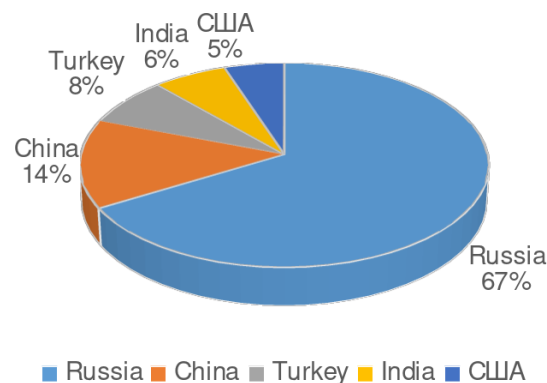


Figure 1 - Structure of Visitors to the Republic of Kazakhstan in 2023

In Kazakhstan, the tourist tax for foreigners was canceled. By order of the Minister of Tourism and Sports of the Republic of Kazakhstan dated December 27, 2023, No. 347, changes were made to the rules for paying the tourist tax for foreigners, according to which a zero rate will be applied throughout Kazakhstan. The tourist tax bedtax was introduced in Kazakhstan at the beginning of 2023. The main goal of its introduction was to accumulate funds for the development of regional tourism in Kazakhstan. The minimum bedtax rate was 0.3 MCI (1,035 tenge in 2023), the maximum - 0.5 MCI (1,725 tenge) depending on the growth of tourists [10].

In 2024, Kazakhstan will spend 586 million tenge to attract foreign tourists and promote the country's tourist image (according to the press service of the Ministry of Tourism and Sports of the Republic of Kazakhstan) [14]. At a government meeting, Minister Ermek Marzhikpaev emphasized that after the pandemic, the tourism

sector worldwide is actively competing for tourists' attention. States are investing significant funds in advertising and promoting their countries. Emphasis will be placed on the Kazakhstan Tourism Year in China, increasing the number of international exhibitions, attracting foreign media. A mechanism is also being developed for off-budget financing of large-scale events in the tourism sector through the Corporate Fund for Supporting the Tourism and Sports Industry.

Kazakhstan ranked 5th on the list of the best countries for adventure tourism according to the British Backpacker Society. This is fully justified by the vast variety of suitable natural spaces and its great potential. EKR has 24 tourism sites, but it is necessary to develop the 25th - the Kalbinsky Ridge [14].

An excellent idea for the development of sustainable tourism in EKR would be the cooperation of recreation bases - a kind of "exchange of tourists" and the development of new interesting tourist routes. We offer several real initiatives that can change the situation in the tourism industry. Among them:

- Road repairs (2024, the head of EKR declared the Year of Roads) to major tourist sites;
- Installation of sanitary and hygiene units every 50

km of roads, with subsequent maintenance;

- Construction of observation platforms in beautiful locations in the region;
- Opening airports in Katon-Karagay and Ulken Naryn;
- Opening more guest houses and yurts in villages;
- Training local residents in service rules and techniques, preparing guides and tour guides in special profile courses;
- Opening a craftsman center for the production of yurts from local materials;
- Laying safe trails for hiking, horse, and cycling routes (e.g., along the Kalbinsky Ridge);
- Opening a modern visitor center in Ust-Kamenogorsk with representatives of tour operator companies;
- Holding international image events and festivals in EKR (climbing Kyzyl-Tas, berkutchi festival, "Taste of Altai" cuisine festival);
- Creating three winter clusters for active winter recreation and skiing in Ridder, the Ivanovsky Ridge, Gornaya Ulbinka, and near the regional center;
- Improving logistics for the uninterrupted delivery of tourists from Ust-Kamenogorsk to vacation spots.

Table 3 – Key Data on Accommodation and Visitors in EKR for 2023

Single capacity (beds) of accommodation facilities, units	33629
Hotel occupancy rate (beds), %	27,6
Visitors served by accommodation facilities for domestic tourism (residents), persons.	582948
Visitors served by accommodation facilities for domestic tourism (residents) persons, persons	29741

The East Kazakhstan Region is one of the promising regions for inbound tourism. Tourism statistics in Kazakhstan indicate that travelers visit EKR for a variety of purposes (table 3). Family vacations are usually organized at Lake Alakol with its famous black pebble beaches and the healing properties of its waters [13]. You can also go for health purposes to the Katon-Karagay National

Park, which houses many sanatoriums, rest houses, and antler therapy centers. People also go there to admire natural beauty and visit historical and cultural sites, of which there are many.

Statistics show that most travelers head to the mountainous areas of the East Kazakhstan Region. Conditions for developing this market niche are

the most favorable here. In addition to the Altai spurs, the region includes the Sauyr-Tarbagatai Mountains, some of the most beautiful in Central Asia, with peaks covered with eternal glaciers on their northern side. The Kalbinsky Mountain Ridge, with its powerful strip of granite intrusions covered with pine forests, is also popular among tourists.

One of the most important factors for attracting tourists is the level of awareness of the region's residents about the existence of sites of interest and their specific features. In the survey, respondents were asked to mark the places in the East Kazakhstan Region they had heard of and the places they had visited. The survey results are presented in Table 4.

Table 4 - Assessment of the Awareness of 10 Recreation Sites in the East Kazakhstan Region

What places have you heard about / What places have you been to	Share of respondents, %	
	Heard	Visited
Sanatorium "Rakhmanovskie Klyuchi"	17,3	3,9
"Sibinsky Lakes"	19,1	8,1
Bukhtarma Reservoir	40,3	13,2
Ski complexes "Altai Alps" and "Nurtau"	20,6	11,1
Lake Alakol	39,1	15,6
"Valley of the Kings" Katon-Karagay National Park	11,5	5,4
Lake Zaisan	12,7	6
Lake Markakol	7,9	3,9
Kalbinsky Ridge	5,8	3,9
Kiin-Kerish Gorge	5,8	2,1
No awareness / Never visited	30	63,7

As can be seen from the survey results, the most well-known sites among residents of Kazakhstan, Russia, and China are "Bukhtarma Reservoir" (40.3%), Lake Alakol (39.1%), and the ski complexes "Altai Alps" and "Nurtau" (20.6%). At the same time, 30% of respondents from territories bordering East Kazakhstan had never heard of any recreation sites in East Kazakhstan. The sanatoriums "Rakhmanovskie Klyuchi" (17.3%) and "Sibinsky Lakes" (19.1%) are little known to residents, and they are practically unfamiliar with the attractions of Lake Markakol (7.9%), Kalbinsky Ridge, and Kiin-Kerish Gorge (both 5.8%).

The survey shows that 15.6% of respondents visited Lake Alakol. The Bukhtarma Reservoir was visited by 13.2% of respondents. The ski complexes of EKR were visited by 11.1% of respondents. A total of 63.7% of respondents had never visited the recreation sites of East Kazakhstan [13].

The survey results indicate a lack of awareness among residents of the three countries about the

attractions of the Altai region and the need to develop a comprehensive program for promoting ecotourism in the region of the Altai Mountains and the Blue Lakes - the jewel of Kazakhstan.

During the study, the authors conducted an assessment of the strengths and weaknesses of tourism development in the East Kazakhstan Region. The generalized results of the analysis of the dynamics and trends of tourism services development, as well as the prerequisites for forming practical recommendations for increasing the attractiveness of the tourism services market, are presented in the form of a SWOT analysis matrix (Table 5).

This analysis shows that ecological tourism has development potential in the East Kazakhstan region but requires efforts to develop infrastructure, increase awareness of natural resources and environmental issues, and ensure a sustainable and responsible approach to the tourism industry as a whole.

Table 5 – SWOT Analysis of Forming the Attractiveness of Tourism Services in the East Kazakhstan Region

Strengths	Weaknesses
<p>Production of tourism services at the lowest cost in the place of consumption; Local population’s interest in developing inbound and domestic tourism; Development of new tourism services; Continuous improvement of service quality; High informatization of all participants in the tourism services market, resulting from the dynamic development of information and communication systems; Rich natural resource potential and beautiful natural landscapes; Rich historical and cultural heritage of the region; Representation of national color; Availability of a conceptual basis for developing the tourism industry in the region; Development of economic and cultural ties with all regions of Kazakhstan; Rich traditions of hospitality, experience in receiving and serving visitors; Favorable conditions for developing various types of tourism; Scientific and educational potential for training specialists in the region; Relatively stable socio-economic situation; Advertising promotion - social networks Instagram, 2GIS.</p>	<p>Uneven distribution of natural potential, climatic conditions determine the seasonality of tourism services (summer and winter periods); High cost of the tourism product; Individualization of service provision, increasing quality requirements as a consequence of growing competition; Lack of incentives for developing inbound and domestic tourism; Lack of qualified specialists in the tourism industry; Lack of marketing activities; Unfavorable environmental situation in EKR; Weak logistical and transport infrastructure in EKR.</p>
Opportunities	Threats
<p>Continuously growing demand in this market and the emergence of new customers; Growth of economic potential through the development of new tourism services; Possibility of diversifying the tourism product; New developments and opportunities for modern types of tourism development; Possibility of developing tourism infrastructure by attracting investments; Improving service quality in all sectors of the economy; The flourishing of the services market era on a global scale; Possibility of rapid development with the restoration of pre-pandemic demand levels in the tourism services market as a whole; Sustainable domestic demand for visiting historical and cultural heritage sites; Increasing productivity of companies included in the tourism cluster, i.e., increasing innovative potential and creating new business projects; Developing new tourism products for visiting little-explored areas, such as the Kalbinsky Ridge; Expanding the range of services offered, improving service quality and tourist safety; The pandemic has led to an increase in the number of tourists engaging in active sports - mountain tourism, trekking, hiking, and walking.</p>	<p>The emergence of new services in the market; Increasing market requirements for service quality; Changing nature of demand for various types of services; Decline in business activity due to the worsening economic situation in the country and the world; Intensifying competition in the struggle for investment resources; Availability of alternative uses for territories suitable for tourism development; Unstable demand in the tourism services market due to seasonality and other factors; Imperfection of legislation on tourism activities regulation; Difficulty attracting qualified specialists and personnel to the tourism sector; Destruction of historical and cultural monuments due to insufficient measures for their preservation; Low quality and uniformity of tourism products; Competition with other tourist destinations and regions.</p>

From January to September 2023, the East Kazakhstan Region saw the following dynamics of key tourism indicators:

- The volume of services provided by accommodation facilities amounted to 47.119 million tenge (an increase of 23.5% compared to the same period in 2022);
- 2.812 thousand citizens of Kazakhstan used accommodation services (an increase of 13.7% compared to the same period in 2022);
- The number of foreign tourists amounted to 147 thousand people (an increase of 16.6% compared to the same period in 2022);
- Investments in fixed assets in the tourism sector amounted to 9.457 million tenge (an increase of 33.0% compared to the same period in 2022).

For socio-economic phenomena, it is characteristic that along with significant factors shaping the level of the effective indicator, many factors influence it. This indicates that the relationships between the phenomena being studied are correlational in nature and are analytically expressed by the function $Y_x = f(x)$. Determining

the regression equation and the strength of the relationship between the studied phenomena constitutes the essence of correlation-regression analysis (CRA).

The research aims to determine the dependence of tourism development on the level of socio-economic development of the region based on correlation-regression analysis. To build a model for forecasting the main socio-economic indicators, which will allow managing the sustainable development of tourism in the East Kazakhstan Region, the correlation-regression analysis method was used based on monthly data for 2023 (Table 6).

As the dependent variable, we define Y - the volume of income from services provided, million tenge. The following factor indicators were selected as explanatory variables:

X_1 - the number of citizens of Kazakhstan who entered the territory of EKR, thousand people;

X_2 - the number of foreign tourists, thousand people;

X_3 - investments in fixed assets in the tourism sector, million tenge.

Table 6 – Initial Data of Correlation-Regression Analysis

Period	Volume of Income from Services Provided (million tenge)	Number of Citizens of Kazakhstan who Entered EKR (thousand people)	Number of Foreign Tourists (thousand people)	Investments in Fixed Assets in the Tourism Sector (million tenge)
01.01.2023	517,118	30,089	1,409	1029,577
01.02.2023	519,496	30,112	1,612	1039,985
01.03.2023	527,219	31,244	1,513	1049,985
01.04.2023	526,874	31,189	1,514	1051,778
01.05.2023	519,638	31,502	1,524	1051,258
01.06.2023	522,237	31,588	1,526	1058,983
01.07.2023	526,528	32,897	1,784	1057,145
01.08.2023	523,246	32,421	1,865	1058,962
01.09.2023	529,544	30,158	1,953	1059,327
01.10.2023	518,788	30,457	1,757	1058,322
01.11.2023	520,159	30,101	1,142	1059,537
01.12.2023	522,987	31,105	1,112	1060,899

To empirically verify the conceptual model, the authors conducted Pearson correlation analysis, as all variables are continuous in nature. All calculations were performed using the "Data Analysis" tool in Microsoft Excel.

As a result of the calculations, it is evident that there is a strong relationship between the amount of income from services rendered and the number of tourists visiting the East Kazakhstan Region, as well as the volume of investments in the tourism sector, with the correlation coefficient $R = 0.713$ or 71.3%.

The coefficient of determination $D = 0.5087$ or 50.87%, meaning that 50.87% of the variation in Y is explained by changes in X_1 , X_2 , and X_3 , while the remaining 49.13% is influenced by other factors.

The multiple regression equation is as follows:

$$Y = 712.443 + 2.526 \times X_1 + 1.222 \times X_2 + 0.253 \times X_3$$

where 2.526 is the regression coefficient showing how much Y will change with a one-unit change in X_1 (the number of citizens of the Republic of Kazakhstan entering the East Kazakhstan Region);

1.222 is the regression coefficient showing how much Y will change with a one-unit change in X_2 (the number of foreign tourists);

0.253 is the regression coefficient showing how much Y will change with a one-unit change in X_3 (investments in fixed assets in the tourism sector);

712.443 is the intercept in the regression equation, interpreted as the initial value of Y .

We will assess the statistical significance of the regression equation and its parameters using Fisher's and Student's t -tests (at a 5% significance level) and elasticity coefficients (5% significance level; 3 degrees of freedom).

The theoretical t -value ($T_{\text{theor}} = 2.23$) is the table value of the Student's coefficient. The calculated Student's t -value ($T = 6.551 > 2.23$).

Thus, it can be concluded that the linear correlation coefficient is significant and reliable.

The table value of Fisher's criterion: F -criterion = 3.59.

The calculated F -value = 22.761 > 3.59, indicating that the constructed equation is

statistically significant and can be used to calculate forecast values of income in the tourism sector of the East Kazakhstan Region based on changes in the number of domestic and foreign tourists, as well as the volume of investments in tourism.

Conclusion The conducted research demonstrates that the East Kazakhstan Region has tremendous potential for the development of ecological tourism, thanks to its rich natural resources, diverse landscapes, and unique ecosystems, including the Kalbinsky Ridge.

As recommendations for the development of tourism in the East Kazakhstan Region, it is essential to focus on developing a system of state regulation and support for tourism activities. The comprehensive implementation of planned measures will contribute to an influx of foreign tourists to the region, strengthen the material and technical base of tourism, expand the diversity and geography of tourist routes, stimulate other industries, and make a significant contribution to the structural transformation of the regional economy.

Macroeconomic and political stability in Kazakhstan, along with the organization of world-scale events, will provide a powerful impetus for further business cooperation in the field of ecotourism. Developing a sound strategy that considers global practices and experiences will allow ecotourism in East Kazakhstan to become a profitable component of the region's economy.

The conducted study on the impact of the tourism sector on the economy of the East Kazakhstan Region using correlation-regression analysis has revealed a positive correlation between the amount of income from services rendered and the number of tourists accommodated, as well as the volume of investments in the tourism industry. It was found that the development of tourism in the East Kazakhstan Region is primarily driven by domestic tourist flows.

The results of the conducted SWOT analysis form the basis for determining the strategic directions for the development of domestic tourism services and improving tourism support in the East Kazakhstan Region.

Thus, it can be concluded that the dynamic development and transformations, equally affecting both the demand for and the supply of tourism services, indicate a transition to a qualitatively new stage in the development of domestic tourism in the East Kazakhstan Region.

Financing: *This research was conducted as part of the implementation of the initiative project 0124PKI0093 "Tourism Potential of the Natural and Historical-Cultural Complex 'Kalbinsky Trails'."*

References

1. Zakon Respubliki Kazahstan ot 13 iyunja 2001 goda № 211 «O turistskoj dejatel'nosti v Respublike Kazahstan» // Informacionno-pravovaja sistema normativnyh pravovyh aktov Respubliki Kazahstan. URL:<https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z010000211> (accessed: 05.01.2024) [in Russian]
2. Tourism in the World. United Nations World Tourism Organization. URL: <https://www.unwto.org>
3. Ob utverzhdenii Konceptii razvitiya turistskoj otrasli Respubliki Kazahstan na 2023 – 2029 gody. Postanovlenie Pravitel'stva Respubliki Kazahstan ot 28 marta 2023 goda № 262. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000262> (accessed: 03.03.2024) [in Russian]
4. Seken, A., Duissembayev, A., Tleubayeva, A., Konurbaeva, Z., Suiubayeva, S. Modern potential of rural tourism development in Kazakhstan // Journal of Environmental Management and Tourism. – 2019. –Vol. 10(6). –P. 1211–1223. DOI: 10.14505//jemt.v10.6(38).03
5. Mutaliyeva, L., Kurmanov, N., Akisheva, A. Analysis of tourism potential and ecological tourism development in Kazakhstan // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. – 2020. - Vol. 159. -P. 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015904031>
6. Abuev A. Turizm v Kazahstane: issledovanie otrasli, problematika i perspektiv. -2023. URL: <https://ffin.kz/research/9-turizm-v-kazahstane-issledovanie-otrasli-problematika-i-perspektivy> (accessed: 21.07.2024)
7. Khalid, U., Okafor, L.E., Burzynska, K. Does the size of the tourism sector influence the economic policy response to the COVID-19 pandemic? // Current Issues in Tourism. -2021. -Vol. 24(19). -P. 2801–2820. DOI:10.1080/13683500.2021.1874311
8. Mirovoj rejting turizma: kakoe mesto zanjal Kazahstan // Official Website inbusiness.kz. URL: <https://inbusiness.kz/ru/last/mirovoj-rejting-turizma-kakoe-mesto-zanyal-kazahstan> (accessed: 02.08.2024)
9. Kak prevratit' Kazahstan v turisticheskuju Mekku? Mnenie jeksperta. // Official Website Azattyq Rýhy. URL: <https://rus.azattyq-ruhy.kz/economics/53058-kak-prevratit-kazahstan-v-turisticheskuiu-mekku-mnenie-eksperta> (accessed: 02.08.2024)
10. International Tourism Highlights // Tourism Library. URL: https://tourlib.net/wto/WTO_highlights_2019.pdf?ysclid=lcp2b4u0vu212952496
11. Kajnazarova D.A., Bajmagambetova L.K. Postkovidnoe sostojanie i razvitie turizma Kazahstana // Vestnik universiteta «Turan». -2023. –Vol. 2. –P. 216-233. <https://doi.org/10.46914/1562-2959-2023-1-2-216-233>
12. Chernysheva A., Jakubova T. Marketingovyje issledovaniya i situacionnyj analiz v 2 ch. Chast' 1. Uchebnik i praktikum dlja akademicheskogo bakalavriata. – Moscow: Litres, 2020. – 244 p. ISBN 978-5-9916-8566-5
13. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. URL: <https://www.stat.gov.kz/>

14. Bureau of National Statistics of the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan // Statistical Digest "Tourism Statistics of Kazakhstan 2021–2023". URL: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-tourism/> (accessed: 05.03.2024)

Information about the authors

Konurbayeva Zh. - D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Candidate of Economic Sciences, Associate professor, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: zhkonurbayeva@edu.ektu.kz;

Suieubayeva S. -D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Candidate of Economic Sciences, Associate professor, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: suyeubaeva@mail.ru;

Zakimova A. - D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Candidate of Economic Sciences, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: zakimovaa@mail.ru;

Mezentseva L. - D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, e-mail: Vvdovin@list.ru;

Turegeldinova A. - Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Candidate of Economic Sciences, PhD, Almaty, Kazakhstan, a.turegeldinova@satbayev.university;

Amralinova B. - Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, PhD, Associate professor, Almaty, Kazakhstan, b.amralinova@satbayev.university.

Сведения об авторах

Конурбаева Ж. - Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, к.э.н., доцент, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: zhkonurbayeva@edu.ektu.kz;

Суйеубаева С. - Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, к.э.н., доцент, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: suyeubaeva@mail.ru;

Закимова А. - Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, к.э.н., доцент, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: zakimovaa@mail.ru;

Мезенцева Л. - Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан, e-mail: Vvdovin@list.ru;

Турегельдинова А. - Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаев, к.э.н., PhD, Алматы, Казахстан, a.turegeldinova@satbayev.university;

Амралинова Б. - Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, к.э.н., доцент, Алматы, Казахстан, b.amralinova@satbayev.university.

THE CONTRIBUTION OF INNOVATIONS TO THE ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE REGIONS OF KAZAKHSTAN

¹A.B. Mottaeva, ²Ye.A. Gordeyeva✉, ³D.A.Sitenko, ³A. Sabyrzhan, ³D.M. Temirbayeva

¹Financial university under the government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation,

²K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,

³Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan

✉Correspondent-author: gordelena78@mail.ru

The development of an innovative economy is one of the key directions of Kazakhstan's strategic development. In the context of global competition and rapid technological progress, the ability of regions to introduce and adapt innovations is becoming a decisive factor in economic growth and increasing the country's competitiveness on the world stage. Kazakhstan, with its significant natural resource potential, is striving to move to a new model of economic development based on knowledge, innovation and technology.

The article examines the impact of innovations on the economic development of the regions of Kazakhstan. The study covers an analysis of the current state of innovation infrastructure, including science and technology parks, incubators and accelerators, as well as government support programs aimed at stimulating innovation activity in the regions. The paper examines the main problems and barriers to innovation, as well as analyzes the correlation between innovation and key economic indicators such as gross regional product, unemployment and investment attraction.

Special attention is paid to international experience, which is being considered in order to develop recommendations for improving regional innovation policy in Kazakhstan. The study is based on statistical data and includes methods of correlation analysis to identify the relationship between innovation and economic development. As a result of the analysis, recommendations have been formulated to improve regional policies aimed at stimulating innovation, which, in turn, can help accelerate economic growth and increase the competitiveness of Kazakhstan's regions at the global level.

Keywords: innovation; development; management; management mechanisms; innovation potential; forecast; level; region; efficiency; strategy; modernization; priorities; technological processes; prerequisites.

ҚАЗАҚСТАН ӨНІРЛЕРІНІҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ДАМУЫНА ИННОВАЦИЯЛАРДЫҢ ҚОСҚАН ҮЛЕСІ

¹А.Б.Моттаева, ²Е.А.Гордеева✉, ³Д.А. Ситенко, ³А.Сабыржан, ³Д.М. Темирбаева

¹Ресей Федерациясының Үкіметі жанындағы Қаржы университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы,

² Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес Университеті, Астана, Қазақстан,

³ Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан,

e-mail: gordelena78@mail.ru

Инновациялық экономиканы дамыту Қазақстанның стратегиялық дамуының негізгі бағыттарының бірі болып табылады. Жаһандық бәсекелестік пен қарқынды технологиялық прогресс жағдайында өңірлердің инновацияларды енгізу және бейімдеу қабілеті елдің әлемдік аренадағы экономикалық өсуі мен бәсекеге қабілеттілігін арттырудың шешуші факторына айналууда. Қазақстан айтарлықтай

табиғи ресурстық әлеуетке ие бола отырып, білімге, инновациялар мен технологияларға сүйенетін экономикалық дамудың жаңа моделіне көшуге ұмтылады.

Мақалада инновациялардың Қазақстан өңірлерінің экономикалық дамуына әсері қарастырылады. Зерттеу инновациялық инфрақұрылымның, оның ішінде ғылыми және технологиялық парктердің, инкубаторлар мен үдеткіштердің ағымдағы жай-күйін, сондай-ақ өңірлердегі инновациялық белсенділікті ынталандыруға бағытталған мемлекеттік қолдау бағдарламаларын талдауды қамтиды. Жұмыста инновацияларды енгізудің негізгі мәселелері мен кедергілері қарастырылады, сондай-ақ инновациялық қызмет пен жалпы өңірлік өнім, жұмыссыздық деңгейі және инвестициялар тарту сияқты негізгі экономикалық көрсеткіштер арасындағы корреляциялық тәуелділіктер талданады.

Қазақстанда өңірлік инновациялық саясатты жақсарту бойынша ұсынымдар әзірлеу мақсатында қаралатын халықаралық тәжірибеге ерекше назар аударылды. Зерттеу статистикалық мәліметтерге негізделген және инновация мен экономикалық даму арасындағы байланысты анықтау үшін корреляциялық талдау әдістерін қамтиды. Жүргізілген талдау нәтижесінде инновацияларды ынталандыруға бағытталған өңірлік саясатты жақсарту үшін ұсынымдар тұжырымдалды, бұл өз кезегінде экономикалық өсуді жеделдетуге және жаһандық деңгейде Қазақстан өңірлерінің бәсекеге қабілеттілігін арттыруға ықпал етуі мүмкін.

Түйін сөздер: инновация; даму; басқару; басқару тетіктері; инновациялық әлеует; болжам; деңгей; аймақ; тиімділік; стратегия; жаңғырту; басымдықтар; технологиялық процестер; алғышарттар.

ВКЛАД ИННОВАЦИЙ В ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА

¹А.Б. Мотгаева, ²Е.А. Гордеева✉, ³Д.А. Ситенко, ³А.Сабыржан, ³Д.М. Темирбаева

¹ Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Российская Федерация,

² Казахский университет технологий и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан,

³ Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан,

e-mail gordelena78@mail.ru

Развитие инновационной экономики является одним из ключевых направлений стратегического развития Казахстана. В условиях глобальной конкуренции и стремительного технологического прогресса, способность регионов внедрять и адаптировать инновации становится решающим фактором экономического роста и повышения конкурентоспособности страны на мировой арене. Казахстан, обладая значительным природным ресурсным потенциалом, стремится перейти к новой модели экономического развития, которая опирается на знания, инновации и технологии.

В статье рассматривается влияние инноваций на экономическое развитие регионов Казахстана. Исследование охватывает анализ текущего состояния инновационной инфраструктуры, в том числе научных и технологических парков, инкубаторов и акселераторов, а также программ государственной поддержки, направленных на стимулирование инновационной активности в регионах. В работе рассматриваются основные проблемы и барьеры внедрения инноваций, а также анализируются корреляционные зависимости между инновационной деятельностью и ключевыми экономическими показателями, такими как валовой региональный продукт, уровень безработицы и привлечение инвестиций.

Особое внимание уделено международному опыту, который рассматривается с целью выработки рекомендаций по улучшению региональной инновационной политики в Казахстане. Исследование

основано на статистических данных и включает в себя методы корреляционного анализа для выявления взаимосвязи между инновациями и экономическим развитием. В результате проведенного анализа сформулированы рекомендации для улучшения региональной политики, направленной на стимулирование инноваций, что, в свою очередь, может способствовать ускорению экономического роста и повышению конкурентоспособности регионов Казахстана на глобальном уровне.

Ключевые слова: инновации; развитие; управление; механизмы управления; инновационный потенциал; прогноз; уровень; регион; эффективность; стратегия; модернизация; приоритеты; технологические процессы; предпосылки.

Introduction. With the goals of diversifying the economy and lowering reliance on raw commodities, the subject of innovations' role in the economic growth of Kazakhstan's regions is pertinent. The adoption of innovations at the regional level helps to draw in investments, boost labor productivity, grow small and medium-sized enterprises, and create new jobs. With the rise of digitization, innovation's importance is only growing.

By examining how innovation contributes to the economic growth of Kazakhstan's regions, it is possible to evaluate the success of the state's current innovation support initiatives, pinpoint the best regional strategies, and create suggestions for future innovative activity stimulation. Furthermore, the topic is pertinent to international cooperation since Kazakhstan's entry into global innovation networks has the potential to quicken the country's economic modernization process and guarantee long-term sustainable growth.

The aim of this research is to examine the role that innovation plays in the economic growth of Kazakhstan's regions and to pinpoint the main drivers of the rise in regional innovation activity.

A review of previous research demonstrates that innovation's role in the economic growth of Kazakhstan's regions is acknowledged as a critical component of sustainable growth. However, despite significant efforts to develop innovation infrastructure and support from the state, there are serious barriers that impede the effective implementation of innovations in the regions. These include inadequate resources, a dearth of skilled workers, a poor degree of collaboration between industry and academia, and a poor integration into international innovation processes.

The article examines the theoretical aspects of innovations, their impact on the economy, and analyzes the current state of innovation infrastructure in Kazakhstan. The operation of technology parks, business incubators, and other components of the innovation ecosystem are studied in particular, as is the degree of state support at the regional level. The collected statistical data on the gross regional product, unemployment rate, investment attraction and number of patents are used to conduct an empirical analysis of the relationship between innovation and regional economic performance. The study also includes the identification of problems and barriers to innovation through surveys and interviews with representatives of business, academia and government. As a result, recommendations are formulated to stimulate innovative activity and infrastructure development, as well as consider the possibilities of expanding international cooperation to increase the competitiveness of the regions of Kazakhstan.

Materials and methods. The process of introducing new or significantly enhanced goods, services, technology, production and management organizational strategies, and other elements that lead to a notable improvement in the overall performance of economic systems and organizations is known as innovation. They are essential to the process of economic expansion because they boost competitiveness, open up new markets, and enhance people's quality of life.

Innovations can be classified according to various criteria, the most common of which are classification by the object of innovation, by the level of novelty and by the degree of impact on the market.

These classifications help to better understand the nature of innovation and its impact on economic development, allowing for more effective strategies and approaches for its implementation and development at the regional and national levels.

The emergence of new markets and employment opportunities is one of the key ways that innovation influences economic development. Both the creation of new economic sectors and the growth of already-existing market niches are facilitated by innovation processes. This opens up new business opportunities and creates additional demand for labor, which in turn helps to reduce unemployment and improve social conditions. As an illustration, the proliferation of digital platforms and information technology has given rise to sectors like cybersecurity and e-commerce, which actively support economic expansion and employment creation.

Furthermore, innovation helps to increase competitiveness both domestically and globally. Companies that implement innovative solutions can offer unique products and services that stand out from the competition. This allows them to capture new markets and strengthen their position in existing ones. Competitiveness, in turn, stimulates further investment and development, creating a vicious circle of positive impact of innovation on economic development.

In addition, innovation has an impact on the sustainability of the economy. In the context of global economic change and instability, innovative solutions can provide a more flexible and adaptive approach to resource and process management, which helps to cope with external and internal challenges. This contributes to long-term sustainable development and reduces the vulnerability of economic systems.

Finland is an outstanding example of how investing in education programs can help create skills and stimulate innovative development. The high caliber of training for experts in the fields of science and technology is the main goal of the Finnish educational system. The "Innovations for Growth" program implemented in Finland supports startups and innovative companies through

grants, tax incentives and other forms of state support. These steps boost competitiveness in the global market and aid in the development of new technologies.

Finland has made large investments in STEM (science, technology, engineering, and mathematics) education as well as scientific research and technology development. As a result, Finland has been able to create a strong innovation ecosystem, which has led to a significant increase in the number of successful startups and the development of high-tech sectors of the economy. One instance is the triumphant growth of Nokia, which has emerged as a global frontrunner in the domains of telecommunications and mobile technologies. This success was due to the availability of qualified specialists and a strong scientific base created thanks to an effective educational system [1].

South Korea also demonstrates a successful approach to innovative development, focusing on the integration of science and business. The country is actively investing in scientific research and the creation of technology parks, such as the technology park in Seoul, which has become a hub for science and technology startups. In South Korea, considerable attention is paid to the training of highly qualified personnel through the reform of the educational system and the development of scientific research [2]. These efforts have contributed to the creation of a strong innovation infrastructure, which has played a key role in making South Korea one of the world's leaders in technology and innovation. Advances in the development of semiconductors and information technology have brought significant economic dividends and strengthened the country's position in international markets.

Science and technology parks, such as Astana Technopark and Almaty Technopark, play a key role in supporting innovative startups and technology projects. These business parks give entrepreneurs access to the facilities they need, such as offices, labs, and consulting services. Nevertheless, as of 2023, just 1.2% of all small and medium-sized businesses in Kazakhstan were registered in these parks, according to a report from the Statistics

Agency of the Republic of Kazakhstan. [3]. This indicates that, despite the existence of appropriate structures, the level of their use remains limited.

Research and development (R&D) spending is a key metric for assessing innovative activities. In 2023, overall R&D spending in Kazakhstan was approximately 0.3% of GDP, a far smaller proportion than the average for developing nations, where this number is closer to 1% of GDP. [4]. Insufficient investment in research and development restricts the potential for developing and promoting novel technologies, hence impeding the advancement of innovation.

Educational programs play a key role in the formation of qualified personnel necessary to support innovative activities. New curricula aimed at training specialists in the field of STEM disciplines are being introduced in Kazakhstan. However, according to the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, there is a lack of interaction between educational institutions and industry. This limits the opportunities for students to apply knowledge in practice and develop innovative projects [5].

Although Kazakhstan is modernizing its educational system, prosperous nations like Singapore demonstrate how tight collaboration between academic institutions and business enterprises promotes more efficient expert training and the growth of new industries. Innovative startups in Singapore, such as Start-up SG, provide students and young entrepreneurs with access to funding and mentorship, enabling their businesses to grow. [6].

Science and technology parks give researchers and entrepreneurs access to the tools they need to create and market new innovations, which helps to shape the innovation ecosystem. The creation of these parks is seen as one of Kazakhstan's top strategic goals for quickening the country's economic growth and shifting it toward a knowledge-based economy. However, in order to achieve significant results in this area, additional efforts are needed to overcome existing barriers and use the best world practices.

Several science and technology parks are

currently operating in Kazakhstan, such as the Astana Technopark, Almaty Technopark and the Saryarka Innovation Center. These parks were created with the aim of supporting start-ups and small innovative enterprises by providing them with access to research infrastructure, office space and advisory services. However, according to the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, in 2023, only 15% of registered companies in these parks have reached the stage of commercialization of their products [7]. This indicator indicates that, despite the availability of infrastructure, the level of efficiency of these parks remains low.

The absence of private funding for advancements in science and technology is one of the main obstacles. As per the World Bank research, Kazakhstan's private sector's share of R&D financing in 2023 was less than 20%, whereas in OECD nations, it was over 60%. [8]. The low level of private financing limits the opportunities for startups and innovative companies, which slows down their development and the introduction of new technologies to the market.

Kazakhstan can learn from the experiences of other nations that have made substantial progress in this field with the construction of science and technology parks. One such example is Israel, where the creation of technology parks and incubators has become a key element in the country's emergence as a global leader in the field of high technology. In Israel, technology parks such as Tel Aviv Technopark have fostered the development of more than 4,000 startups, attracting significant investment from the private sector and venture capital funds. In 2022, the total volume of venture capital investments in Israeli startups exceeded \$10 billion, which is more than 4% of the country's GDP [9].

The advantage of the Israeli model is the high level of coordination between the state, universities and the private sector. The state actively supports innovative companies through grants, tax incentives and support programs, while private investors and venture funds provide significant funding at the stage of growth and scaling of projects. This approach ensures the sustainable development of the

innovation ecosystem and the rapid growth of high-tech sectors of the economy.

Kazakhstan can benefit from the Israeli model by enhancing collaboration between public and private sectors, as well as by establishing more conducive environments to draw private investment in advances in science and technology. A higher volume of venture capital investments and the establishment of favorable conditions for the more successful commercialization of scientific discoveries will greatly improve the effectiveness of the nation's current technology parks and spur its creative economy.

One of the main things that helps innovation activities grow around the world is state backing. In Kazakhstan, the state is actively implementing various programs aimed at stimulating scientific research, technological development and commercialization of innovations. An examination of current programs reveals both their strengths and areas for development.

One of the most significant programs to support innovation in Kazakhstan is the commercial Road Map 2025 program, which provides funding for small and medium-sized commercial endeavors, including creative firms. Under this program, businesses may be eligible to get loan guarantees, subsidies to cut loan interest rates, and other forms of financial help. 40% of the more than 2,000 innovative projects that got support between 2020 and 2023 were successful in breaking into the market, according to the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan. [10].

However, the effectiveness of these programs is limited by several factors. First, there is a lack of coordination between different government agencies, which makes it difficult for entrepreneurs to access the necessary information and resources. Secondly, the process of obtaining state support remains complex and requires significant administrative costs on the part of enterprises [11]. These barriers reduce the attractiveness of programs to potential participants and limit the scope of their implementation.

Kazakhstan can learn from the experiences of

other nations that have successfully implemented comparable procedures in order to increase the efficacy of its state support programs. A prime example is Finland, where Business Finland plays a central role in supporting innovation. Finland actively supports start-ups and small businesses through grant programs that cover all stages of the innovation process, from scientific research to entering international markets. In 2022, Business Finland invested more than 600 million euros in the development of innovative projects, which led to the creation of more than 1,500 new jobs and an 8% increase in exports of high-tech products [12].

The advantage of the Finnish model lies in its high degree of integration with the national innovation strategy, as well as in close cooperation with the private sector and international partners. Government programs are complemented by private investment and venture financing, which allows for sustainable growth in the innovation sector. For Kazakhstan, this experience can be useful in the context of improving coordination between various public and private structures, as well as for creating more transparent and accessible mechanisms of state support.

Several methodological approaches were used to assess the impact of innovation on the economic development of the regions of Kazakhstan and to analyze the effectiveness of state support for innovative activities. Each of the methods allows you to gain a comprehensive understanding of the current situation, identify key problems and offer recommendations based on the analysis of both national and international data.

Economic and statistical analysis was used to assess the current state of innovation infrastructure and the level of innovation implementation in various regions of Kazakhstan. Data from official sources, including the Ministry of National Economy, the National Bank of the Republic of Kazakhstan, and the Agency on Statistics of the Republic of Kazakhstan, were gathered and examined for this study. Specifically, metrics pertaining to the amount of funds allocated to research and development (R&D), the proportion of inventive businesses, and GDP growth rates in

areas that are actively implementing innovations were taken into account [13]. The information acquired indicates that areas with high levels of innovative activity also exhibit greater rates of economic growth, confirming the beneficial effects of innovation on regional development.

The experience of other nations with regard to state funding for innovation initiatives and setting up frameworks for the growth of science and technology parks was examined through comparative research. Finland was chosen as an example, which demonstrates high indicators of innovation activity and the effectiveness of state support. In 2022, Finland ranked first in the Global Innovation Index, with a score of 64.6, well above the world average [14]. The study analyzed data from Business Finland, which showed that over the past five years, the number of innovative startups in Finland has increased by 25%, which contributes to sustainable economic growth and the development of high-tech sectors of the economy [15].

The economic development of the regions is largely determined by the level of their innovative activity. Important indicators characterizing the economic state of the regions are the gross regional product, the unemployment rate, as well as the volume of attracted investments. It is feasible to evaluate the effect of innovation on economic development and pinpoint important patterns that influence a region's success by analyzing these metrics.

Gross regional product is an important indicator of the economic state of the region, reflecting the total volume of goods and services produced. Significant regional variations in GRP exist in Kazakhstan, and these variations are linked to varying levels of industry growth, agro-industrial complex development, and innovation activity. Due to their high levels of economic activity and concentration of creative businesses, Almaty and Astana recorded the largest GRP in 2023—13.2 trillion and 8.7 trillion tenge, respectively—according to the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. [16]. At the same time, in several rural regions, such as North Kazakhstan and Zhambyl regions, GRP remains below the

national average, which is associated with a low level of innovation and insufficient development of scientific and technical infrastructure.

The unemployment rate is another important indicator that reflects the economic state of the region and its ability to adapt to the challenges of the labor market. Regions with high innovation activity have lower unemployment rates, which is associated with the creation of new jobs in high-tech sectors of the economy. The unemployment rates in Almaty and Astana in 2023 were 4.2% and 4.5%, respectively, according to the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan. These figures are considerably lower than the 5.8% national average [17]. At the same time, in regions with low innovation activity, such as Mangistau and Turkestan regions, the unemployment rate remains high, reaching 7% and above.

Attracting investment, especially in research and development (R&D), is a key factor in determining the success of regions in the field of innovation. In Kazakhstan, there is a significant gap in investment between regions. According to the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan, in 2023, the largest volume of investments in R&D was attracted in the cities of Almaty and Astana, where it amounted to 65 billion and 48 billion tenge, respectively [18]. Science and technology parks are actively operating in these regions, which helps to attract investors and create favorable conditions for the development of innovative business. At the same time, in a number of rural regions, such as Kyzylorda and Aktobe regions, the volume of investment in innovative projects remains extremely low, which limits the opportunities for economic growth and diversification of the economy.

The experience of other countries shows that effective innovation policy and attracting investment can significantly accelerate the economic development of regions. For example, in South Korea, which is actively developing regional innovation clusters, it was possible to significantly increase GRP and reduce unemployment in provinces where advanced technologies are being introduced. According to the Korea Trade and

Investment Promotion Agency, in 2022, the volume of investments in innovation clusters exceeded \$5 billion, which led to a 6% increase in GRP and a 1.5% decrease in the unemployment rate in the most active regions [19]. This experience highlights the importance of investing in innovation to ensure sustainable economic growth and improve the quality of life of the population.

An analysis of statistical data for Kazakhstan shows significant regional differences in the level of economic development, which is largely due to the degree of innovation and the volume of attracted investments. Regions with high innovation activity demonstrate higher GRP, low unemployment and significant investment volumes, which confirms the positive impact of innovation on economic development. At the same time, the experience of other countries, such as South Korea, shows that comprehensive measures to support innovation can significantly accelerate the development of regions and increase their competitiveness in the global market.

The relationship between the level of innovation activity and the main economic indicators of the regions is an important aspect for understanding the mechanisms of economic growth and development. In this study, a correlation analysis was carried out aimed at identifying the degree of dependence between innovations and such economic indicators as gross regional product (GRP), unemployment rate and the volume of attracted investments in the regions of Kazakhstan.

To conduct a correlation analysis, data for 14 regions of Kazakhstan for the period from 2019 to 2023 were used, including GRP indicators, unemployment rate, volume of investment in research and development (R&D), as well as the number of registered patents and innovative enterprises. The data was collected from official sources, such as the Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan and the Ministry of National Economy of the Republic of Kazakhstan [16-17].

The results of the correlation analysis showed that there is a significant positive correlation between the level of innovation activity and the

gross regional product (correlation coefficient $r = 0.68$). This indicates that regions with higher innovation activity, expressed in the number of patents registered and the volume of investment in R&D, show higher GRP growth rates. For example, the cities of Almaty and Astana, where the concentration of innovative enterprises and investments in R&D is much higher, show an annual increase in GRP at the level of 4.5% and 3.8%, respectively [16].

Correlation analysis also revealed a negative relationship between the level of innovation activity and the unemployment rate ($r = -0.54$). In regions with a high level of innovation, there is a decrease in unemployment, which is associated with the creation of new jobs in high-tech sectors of the economy. In particular, in Almaty, where the largest number of innovative enterprises are registered, the unemployment rate decreased to 4.2% in 2023, which is significantly lower than the national average [20].

In terms of the volume of attracted investments, a positive correlation ($r = 0.62$) was found between investments in R&D and GRP. This indicates that regions that attract more investment in research and development are showing higher rates of economic growth. For example, in the Atyrau region, where the volume of investment in R&D increased by 15% in 2023, GRP increased by 3.6%, which emphasizes the importance of attracting investment in innovative projects [20].

International experience confirms the existence of a strong positive correlation between innovation and economic performance. For example, in South Korea, one of the leading countries in terms of innovation activity, a high correlation was found between the volume of investment in R&D and economic growth at the level of $r = 0.75$ [21]. Between 2015 and 2022, R&D investment in South Korea increased by 20%, resulting in a 7% GDP growth and a 2% decrease in the unemployment rate [21]. This experience highlights the importance of public and private financing of innovation activities for sustainable economic growth.

The process of introducing innovations into the economy of Kazakhstan faces a number of

significant problems and barriers that slow down the pace of innovative development and limit the potential for economic growth of the regions. This section examines the key obstacles identified in the course of the study and analyzes foreign experience that can be useful in overcoming these barriers.

One of the main barriers to the introduction of innovations in Kazakhstan is the insufficient development of the scientific and technical infrastructure. In most regions of the country, there is a lack of the necessary number of technology parks, incubators and research centers, which complicates the implementation of innovative projects and limits access to modern technologies. For example, in 2023, there were only 13 technology parks in Kazakhstan, of which 8 are concentrated in Almaty and Astana, while access to such resources is extremely limited in rural areas [22].

A comparison with international experience, in particular with Finland, shows a significant lag in the development of infrastructure. In Finland, a country with a high level of innovative activity, there are more than 50 technology parks and research centers that ensure close interaction between science and business, which contributes to the accelerated introduction of innovations [23]. This experience underscores the need to expand the network of technology parks and other innovative facilities throughout Kazakhstan.

Financial constraints remain one of the main barriers to innovation in Kazakhstan. Despite the Government's efforts to support research and development, funding remains inadequate. In 2023, R&D expenditures amounted to only 0.13% of GDP, which is significantly lower than the average level for the countries of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), where this figure averages 2.4% [24]. This situation limits the possibilities for research and development of new technologies, which negatively affects the country's innovative potential.

In addition, private sector activity in financing innovation remains low. Most businesses in Kazakhstan prefer to invest in traditional low-risk activities, which limits opportunities for innovation. In 2023, the share of the private sector in total

R&D investment was only 18%, while in leading innovative economies such as Germany, this figure exceeds 60% [25]. To overcome this problem, it is necessary to stimulate the participation of the private sector in financing innovative projects through tax incentives, subsidies and public-private partnerships.

Another significant barrier is weak cooperation between scientific institutions and business. In Kazakhstan, there is a low level of interaction between universities and enterprises, which makes it difficult to commercialize scientific developments and introduce innovations into industry. According to the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, in 2023, only 12% of state-funded scientific projects were implemented in cooperation with business, which indicates insufficient integration of the scientific and business environment [26].

International experience, for example, in the United States, demonstrates the importance of close cooperation between science and business. In the United States, there are a number of programs aimed at stimulating interaction between universities and enterprises [27], which leads to a high level of commercialization of scientific developments. As a result, more than 70% of innovative startups in the United States arise in university incubators and technology parks, which contributes to the rapid introduction of innovations into the economy [28].

Another significant impediment to innovation is staffing limitations. The possibilities for the creation and use of new technologies are restricted by the shortage of skilled experts in the fields of science and technology. In 2023, specialists working in R&D made up only 0.8% of Kazakhstan's entire workforce, a much smaller percentage than in OECD nations, where the percentage is above 3% [29].

To overcome the personnel shortage, Kazakhstan should pay attention to the experience of South Korea, where the successful development of educational programs in the field of science and technology has become a key factor in increasing innovative activity. Specifically, in South Korea, advanced training courses and special

education programs have been implemented, leading to a notable increase in the number of competent workers and a faster pace of innovation introduction. [30].

Results and discussions. The results of the study confirmed the key role of innovation activity in the economic development of the regions of Kazakhstan, identifying both significant successes and significant barriers that the country faces on the way to building an innovative economy.

The study showed that regions with a high concentration of innovative projects demonstrate higher rates of economic growth and sustainability. For example, the GRP of Almaty, one of the leaders in innovation activity, grew by 4.5% in 2023, which is significantly higher than the average for Kazakhstan, which is 3.3% [16]. Such results confirm the effectiveness of investment in innovation as a tool for stimulating regional development.

Foreign experience also confirms this pattern. In Finland, where state support for innovation is central to economic policy, GDP growth consistently exceeds 2% annually, which is associated with active investment in R&D and close cooperation between science and business [14]. The application of this experience in Kazakhstan can contribute to a more even distribution of economic benefits between regions and reduce interregional disparities.

The study identified significant barriers that limit the potential for innovative development in Kazakhstan. Lack of financing remains a major challenge: despite the growth of investment, it remains low compared to international standards. In 2023, R&D expenditures amounted to only 0.13% of GDP, which is significantly lower than the level of OECD countries [24]. This limits the opportunities for the development of new technologies and the introduction of innovations in industry.

In addition, the underdevelopment of the scientific and technical infrastructure and weak cooperation between scientific institutions and business hinder the effective implementation of innovative projects. In Kazakhstan, only

12% of state-funded scientific projects were implemented in cooperation with business [26]. At the same time, in the United States, the share of commercialized scientific developments is much higher, which indicates the importance of interaction between science and business for the successful implementation of innovations [28].

An analysis of international experience has shown that the successful development of an innovative economy requires an integrated approach, including state support, infrastructure development and incentives for the private sector. In particular, the experience of South Korea, where active government intervention in support of innovation has led to significant economic growth, can be useful for Kazakhstan. South Korea pays special attention to the training of qualified personnel and the development of science parks, which has allowed the country to become one of the world leaders in terms of innovation activity [30].

For the successful implementation of innovations in Kazakhstan, it is necessary to revise the current policy in the field of science and technology, taking into account successful international practices. This includes increasing the share of R&D funding, developing a network of technology parks and incubators across the country, and strengthening cooperation between science and business.

Based on the study, the following recommendations can be made for the further development of the innovative economy in Kazakhstan:

1. Raising the percentage of R&D spending to at least 1% of GDP would greatly expand the opportunities for new technology research and development.
2. Increasing the number of technology parks and incubators in the nation will be a significant step in ensuring that innovation activity is distributed equally across the nation, particularly in less developed areas.
3. The percentage of private investment in R&D will expand if tax breaks and other financial aid are made available to businesses that invest in innovation.
4. The creation of platforms and programs for

interaction between universities and enterprises contributes to the faster commercialization of scientific developments and their implementation in industry.

The implementation of these measures will allow Kazakhstan to accelerate the development of an innovative economy, reduce regional imbalances and increase the country's competitiveness in the global market.

In this context, the following recommendations are proposed to complement the previously presented measures and help to enhance their impact.

Regional authorities should integrate the innovation strategy into general plans for socio-economic development. At the moment, in many regions of Kazakhstan, innovation initiatives are often considered as separate projects, which limits their large-scale impact on the economy [31]. To improve the situation, it is necessary to develop strategic plans that include long-term goals for innovative development, integrated with other aspects of regional development, such as infrastructure and education.

It is important to create conditions for the development of start-ups and small innovative enterprises that can become engines of economic growth. Kazakhstan should develop special business incubators, accelerators and venture capital funds that will support startups at all stages of their development [32]. Successful examples of such initiatives can be found in the United States, where accelerator networks such as Y Combinator and Techstars provide startups with access to resources and investment, contributing to their rapid growth and successful commercialization [33].

The creation of regional competence centers that will specialize in advanced technologies and innovations can significantly increase the efficiency of scientific and research projects. These centers can serve as platforms for knowledge exchange, joint research and development of new technologies [34]. In Switzerland, for example, such centers actively support research in the field of biotechnology and medical technology, which has

contributed to the significant growth of these sectors [35]. Kazakhstan should consider the possibility of creating such centers in key regions for the development of advanced industries.

Scientific tourism, which attracts scientists and entrepreneurs from other countries to participate in research and conferences, can be an effective tool for raising the international status of regions. The creation of scientific and technical events, such as conferences and symposia, will facilitate the exchange of knowledge and the establishment of international relations [36]. The scientific conferences in China, which draw experts from all over the world and aid in the creation of cutting-edge technologies and creative solutions, are an illustration of how scientific tourism has been successfully implemented [37].

Administrative and bureaucratic barriers can significantly hinder innovation activity and business development. In Kazakhstan, it is necessary to carry out reforms aimed at simplifying the procedures for registering enterprises, obtaining permits for scientific research and introducing new technologies [38]. A notable example in the global arena is New Zealand, where the introduction of electronic services for business and the streamlining of registration procedures have drawn substantial investment in innovation and produced a favorable business climate [39].

These recommendations will complement previously proposed measures and help create a more sustainable and innovative economy in the regions of Kazakhstan. The application of the best international practices, combined with adaptation to local conditions, will ensure the effective development of the regions, improve the investment climate and increase the country's competitiveness in the international arena.

Conclusions. The study's findings demonstrated that innovations significantly influence the economic growth of Kazakhstan's regions. Integrating innovation strategies into regional planning and infrastructure development to support innovation is a prerequisite for sustainable growth. Science and technology parks, incubators, and accelerators can help increase start-ups and

draw private investment, which in turn increases economic metrics like employment rates and gross regional product. These facilities can be developed and implemented in the regions.

International experience demonstrates that effective infrastructure initiatives and government support implemented in countries such as Israel and the United States lead to significant improvements in innovation activity and commercialization of scientific developments. In particular, the creation of specialized technology parks and accelerators helps startups gain access to resources and investments, accelerating their growth and integration into the economy.

The data indicate the need to create regional competence centers that will focus on advanced technologies and innovation. These centers contribute to the concentration of knowledge and resources, which allows for more efficient research and the development of new technologies. The experience of Switzerland shows that the creation of such centers can accelerate the development of

key industries and increase the international status of the regions.

The analysis shows that scientific tourism and international conferences can be effective tools for improving the scientific status of regions and developing high technologies. Successful examples from China confirm that the organization of major scientific events contributes to the exchange of knowledge and the strengthening of international relations, which in turn stimulates innovative activity.

New Zealand's experience shows how simplifying administrative processes can help create a favourable business climate and attract investment.

Thus, the comprehensive application of recommendations based on international practice and adapted to the local conditions of Kazakhstan can significantly increase the level of innovation activity and economic growth in the regions. These measures will help to use resources more efficiently, improve the investment climate and strengthen the country's competitiveness in the global arena.

References

1. Pohjola M., & Vanhala J. Innovations for Growth in Finland. Helsinki: Finnish Innovation Fund. -2019.
2. Kim, J.Y. Innovative Development in South Korea: Integration of Science and Business// Journal of Research and Technology in Asia. -2020. -Vol.4. -P. 85–102.
3. Agentstvo po statistike Respubliki Kazakhstan. Godovoy otchet po malym i srednim predpriyatiyam. –Almaty, 2023. [in Russian]
4. UNESCO. Science Report: The Race Against Time for Smarter Development. UNESCO Publishing. -2021. ISBN 978-92-3-100450-6
5. Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RK. Otchet o reformirovaniy obrazovatel'noy sistemy. – Astana, 2023.
6. Economic Development Board of Singapore. Start-up SG Programmes. Retrieved from. -2023. <https://www.singaporeeda.gov.sg>.
7. Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RK. Godovoy otchet po nauchno-tekhnologicheskim parkam Kazakhstana. –Astana,2023.
8. World Bank. World Development Indicators. World Bank Group, 2023. URL: <https://data.worldbank.org/products/wdi>
9. Israel Innovation Authority. Annual Innovation Report 2022. 2023 URL: <https://innovationisrael.org.il/en/reports>
10. Ministerstvo natsional'noy ekonomiki RK. Godovoy otchet po programme "Dorozhnaya karta biznesa 2025". -Astana, 2023.

11. Ministerstvo natsional'noy ekonomiki RK. Otchet po otsenke effektivnosti programm gosudarstvennoy podderzhki malogo i srednego biznesa. -Astana, 2023.
12. Business Finland. Annual Report 2022. - 2023. URL: <https://www.businessfinland.fi/en/reports>
13. Agentstvo po statistike Respubliki Kazakhstan. Godovoy statisticheskiy otchet po innovatsiyam. - Almaty, 2023.
14. Global Innovation Index. Global Innovation Index 2022 Rankings. World Intellectual Property Organization. -2022.
15. Business Finland. Annual Report 2022. -2023. URL: <https://www.businessfinland.fi/en/reports>
16. Agentstvo po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan. Godovoy ekonomicheskii otchet. –Almaty, 2023.
17. Ministerstvo truda i sotsial'noy zashchity naseleniya RK. Otchet po sostoyaniyu rynka truda i zanyatosti. -Astana, 2023.
18. Ministerstvo natsional'noy ekonomiki RK. Statisticheskiy byulleten' po investitsiyam v NIOKR. Almaty, 2023.
19. KOTRA. Annual Report 2022. -2023. URL: <http://www.kotra.or.kr/foreign/reports>
20. Ministerstvo natsional'noy ekonomiki RK. Statisticheskiy byulleten' po investitsiyam v NIOKR. - Almaty, 2023.
21. World Bank. South Korea Economic Growth and Innovation Report 2022. -2023. URL: <https://www.worldbank.org/reports>.
22. Agentstvo po strategicheskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazakhstan. Godovoy otchet po innovatsionnoy infrastrukture. -Almaty, 2023.
23. European Commission. European Innovation Scoreboard 2023. Brussels. -2023. URL: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/european-innovation-scoreboard-2023_en
24. OECD. Main Science and Technology Indicators. -Paris, 2023.
25. Federal'noye ministerstvo ekonomiki i energetiki Germanii. Otchet o sostoyanii innovatsiy v Germanii. -Berlin, 2023.
26. Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RK. Otchet po nauchno-issledovatel'skim proyektam. - Astana, 2023.
27. Ivanov I.I. Razvitie innovatsionnykh tekhnologiy v usloviyakh globalnoy konkurentsii // Innovatsii. – 2024. – № 3. – S. 25-35. – URL: <https://innovazia.ru/upload/iblock/e31/kio3arl3016iivxnge62qgpxndvmgzks/%E2%84%963%202024%20%D0%98%D0%B8%D0%98.pdf> (data obrashcheniya: 05.09.2024)
28. National Science Foundation. Science and Engineering Indicators. Arlington. -2023.
29. Ministerstvo truda i sotsial'noy zashchity naseleniya RK. Statisticheskiy otchet po zanyatosti v sfere NIOKR. -Almaty, 2023.
30. Ministry of Science and ICT of South Korea. Annual Report on Science and Technology. Seoul. -2023.
31. Ministerstvo industrii i infrastruktornogo razvitiya RK. Otchet po nauchno-tekhnicheskoy infrastrukture Kazakhstana. - Almaty, 2023.
32. Kazakhstanskii tsentr innovatsii i startapov. Analiz sostoyaniya i rekomendatsii. -Astana. 2023.

-
33. Combinator Y. Annual Report on Startup Growth and Impact. Mountain View. -2023.
 34. Swiss Innovation Agency. Regional Competence Centers and Their Impact. Zurich. -2023.
 35. Swiss Biotech. Annual Report on Biotech Innovations. Basel. -2023.
 36. European Association of Science and Technology Parks. Science and Technology Tourism Report. Brussels. -2023.
 37. Chinese Academy of Sciences. International Scientific Conferences and Their Impact. Beijing. -2023.
 38. Ministerstvo iustitsii RK. Otchet po administrativnym i biurokraticeskim bar'yeram dlya biznesa. Astana. 2023.
 39. New Zealand Trade and Enterprise. Business Environment and Innovation Report. Wellington. 2023.

Information about the authors

Mottaeva A.B. – Doctor of Economics, professor, Financial university under the government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation, e-mail: doptaganka@yandex.ru;

Gordeyeva Ye.A. – PhD, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: gordelena78@mail.ru;

Sitenko D.A. – PhD, professor, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: daesha@list.ru;

Sabyrzhan A. – c.e.s., professor, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: alisher-aliev-79@mail.ru;

Temirbayeva D.M. – PhD, assistant professor, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: dina131111@mail.ru.

Сведения об авторах

Моттаева А.Б. – д.э.н., профессор, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Российская Федерация, e-mail: doptaganka@yandex.ru;

Гордеева Е.А. – PhD, Казахский университет технологий и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: gordelena78@mail.ru;

Ситенко Д.А. – PhD, профессор, Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан, e-mail: daesha@list.ru;

Сабыржан А. – к.э.н., профессор, Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан, e-mail: alisher-aliev-79@mail.ru;

Темирбаева Д.М. – PhD, ассистент профессора, Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова, Караганда, Казахстан, e-mail: dina131111@mail.ru.

МЕМЛЕКЕТТІК-ЖЕКЕ МЕНШІК ӘРІПТЕСТІКТІҢ АҚМОЛА ӨҢІРІНІҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ӨСУІНЕ ӘСЕРІН ТАЛДАУ

¹С.Рейдолда✉, ²О.А. Карпенко, ¹К.Ж. Садвокасова, ³А.М. Бержанова, ¹Б.Н. Жабытай✉,
¹А.К. Алпысбаева

¹Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

²РУДН, Мәскеу, Ресей,

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

✉Корреспондент-автор: Saulegul0408@gmail.com, bayana_7778@mail.ru

Мақаланың мақсаты Ақмола өңірінің экономикалық өсуіне МЖЭ әсерін анықтау болып табылады. Зерттеу объектісі Ақмола облысында жүзеге асырылған МЖЭ жобалары және өңірдің әлеуметтік-экономикалық даму процесі. Талдау нәтижесі бойынша өңірдің экономикалық өсуіне МЖЭ әсері бағаланды. Зерттеу барысында Ақмола өңірі бойынша жүзеге асырылған МЖЭ жобаларына динамикалық талдау жасалды. Талдау барысында 2018-2022 жылдар аралығында МЖЭ жобалары және өңірдің экономикалық өсуін сипаттайтын экономикалық көрсеткіштер туралы ақпараттар қолданылды. Хоррард-Домер моделін қолдана отырып, өңірдің экономикалық өсуі анықталды және оған әсер еткен факторларға факторлық талдау жасалды. Ақмола облысында 2018-2022 жылдар аралығында барлығы 66 МЖЭ жобасы жүзеге асырыла бастаған, барлығы 7783,26 мың теңге көлемінде инвестиция тартты және осы жылдар аралығында тартылған инвестициялар орташа есеппен 15,36% үлесті құрады. Р. Харрод пен Е. Домар моделі бойынша экономиканың өсу қарқыны мынаны көрсетті: инвестицияның жиынтық табысқа қатынасы орташа есеппен 0,88 млн тг, капитал сыйымдылығы 2,25 млн тг, экономиканың өсу қарқыны 0,38 немесе 38,26% өскен. Қорыта келгенде, Ақмола облысы бойынша МЖЭ сәтті жүзеге асыру үшін тұрақты инвестициялық климат құру қажет.

Түйін сөздер. Мемлекеттік-жекеменшік әріптестік, жобалары, инвестициялар, салыстырмалы талдау, динамикалық талдау, құрылымдық талдау.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА НА ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ АҚМОЛИНСКОГО РЕГИОНА

¹С.Рейдолда✉, ²О.А. Карпенко, ¹К.Ж. Садвокасова, ³А.М. Бержанова,
¹Б.Н. Жабытай✉, ¹А.К. Алпысбаева

¹Казахский университет технологии и бизнеса, Астана, Казахстан,

² РУДН, Москва, Россия,

³ Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,

e-mail: Saulegul0408@gmail.com, bayana_7778@mail.ru

Целью статьи является определение влияния ГЧП на экономический рост Акмолинской области. Объектом исследования являются проекты ГЧП, реализуемые в Акмолинской области, и процесс социально-экономического развития региона. По результатам анализа проведена оценка влияния ГЧП на экономический рост региона. В ходе исследования был проведен динамический анализ проектов ГЧП, реализуемых в Акмолинской области. В анализе использовалась информация о проектах

ГЧП на 2018-2022 годы и экономические показатели, характеризующие экономический рост региона. С помощью модели Хоррарда-Домера был определен экономический рост региона и проведен факторный анализ факторов, влияющих на него. В Акмолинской области в период с 2018 по 2022 год всего было реализовано 66 проектов ГЧП с привлечением инвестиций на сумму 7783,26 тыс. тенге, а привлеченные инвестиции за годы составили в среднем 15,36%. Темп роста экономики по модели Р. Харрода и Е. Домара показал следующее: отношение инвестиций к общему доходу в среднем составило 0,88 млн. тенге, капиталоемкость составила 2,25 млн. тенге, темп роста экономики увеличился на 0,38 или 38,26%. Для успешной реализации ГЧП в Акмолинской области необходимо создать стабильный инвестиционный климат.

Ключевые слова. Государственно-частное партнерство, проекты, инвестиции, сравнительный анализ, динамический анализ

ANALYSING THE IMPACT OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP ON THE ECONOMIC GROWTH OF THE AKMOLA REGION

¹S. Reidolda✉, ² O.A. Karpenko, ¹K.Zh. Sadvokassova, ³A.M. Berzhanova,
¹B.N. Zhabytai✉, ¹A.K. Alpysbayeva

¹Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,

²RUDN, Moscow, Russia,

³L.N. Gumilev Eurasian National university, Astana, Kazakhstan,

e-mail: Saulegul0408@gmail.com, bayana_7778@mail.ru

The purpose of the article is to determine the impact of PPP on the economic growth of Akmola region. The object of the study is PPP projects implemented in Akmola region and the process of socio-economic development of the region. According to the results of the analysis, the impact of PPP on the economic growth of the region was assessed. In the course of the study a dynamic analysis of PPP projects implemented in Akmola region was carried out. The analysis used information on PPP projects for 2018-2022 and economic indicators characterizing the economic growth of the region. Using the Hordard-Domer model, the economic growth of the region was determined and a factor analysis of the factors affecting it was conducted. In Akmola region in the period from 2018 to 2022, a total of 66 PPP projects were implemented with the attraction of investments in the amount of 7783.26 thousand tenge, and the attracted investments for the years amounted to an average of 15.36%. The growth rate of the economy according to the model of R. Harrod and E. Domar showed the following: the ratio of investment to total income averaged 0.88 million tenge, capital intensity amounted to 2.25 million tenge, the growth rate of the economy increased by 0.38 or 38.26%. For successful implementation of PPP in Akmola region it is necessary to create a stable investment climate.

Keywords. Public-private partnership, projects, investments, comparative analysis, dynamic analysis.

Кіріспе. Төмен сапалы инфрақұрылым елдің тұрақты экономикалық өсуіне және халықаралық нарықта бәсеке қабілеттілігін арттыруға келдіргі келтіреді. Дамымаған инфрақұрылым халықтың өмір сүру сапасының төмен болуының негізгі себептерінің бірі болып табылады. Сондықтан инфрақұрылымдық жобалардың әлеуметтік тиімділігі елеулі болады. Инфрақұрылымға салынатын инвестицияның өсуі халықтың әлауқатының жақсаруына ықпал етеді. Алайда мемлекеттік сектор инфрақұрылымдық қызметтерді бюджеттен қаржыландырады. Осыған қарамастан инвестицияны тартудың тиімді жолдарын үнемі іздестіреді. МЖӘ инфрақұрылымға инвестиция

тартудың маңызды құралы болып табылады. Бұл жерде МЖЭ инфрақұрылымдық қызметті кеңейту және жақсарту мақсатында мемлекет пен жеке сектор арасында жасалатын келісім-шарт ретінде кең мағынада қарастырылады [1].

Көп жағдайда МЖЭ тетігін қолданатын жобалар жеткілікті қаржыландырулар мен эксперттердің көмегінсіз асығыс жасалады. Бұл үлкен қателік. Негізі МЖЭ жобалары салалық стратегиялармен экономикалық саясаттың бөлігі болып табылатын басым бағыттағы стратегиялық жобалар болуы тиіс. Мемлекеттің негізгі рөлі жобаны тиісті деңгейде жүзеге асыруды қамтамасыз ету, жеке инвесторлардың қызметін қадағалау, туындаған даулы мәселелерді жедел шешу болып табылады. МЖЭ тетігін қолдану шығыны көп және ұзақ уақытқа созылуы мүмкін [2]. Тіпті МЖЭ дамыған елдердің өзінде жобаларды дайындауға орташа есеппен барлық жұмсалатын шығынның 2,6% тиесілі және дайындық кезеңінің ұзақтығы 36 айға созылады. Осыған байланысты қандайда бір инфрақұрылымға байланысты мәселелерді шешу үшін МЖЭ тетігін қолдану қаншалық тиімді деген сұрақ туындайды. Алайда мемлекет МЖЭ тетігін қолдануды қажет етуінің бірқатар себептері бар:

- мемлекеттік сатып алу әдістерінде коррупцияның болуы, жеке секторлардың қаржыландыру жолдарының ашық еместігі және қызметінің тиімділігінің төмендігі;
- басқарушы және техникалық мамандардың жеткіліксіздігі;
- инфрақұрылымдық жобаларды жүзеге асыру шығындарының көп болуы, кезең сайын жөндеу және қамтамасыз ету шығындарының елеулілігі, мемлекеттік ресурстардың жетіспеушілігі мен инвестицияға деген қажеттіліктің болуы.

МЖЭ тетігін қолдану мемлекетке бірқатар пайда әкеледі. Осыған байланысты МЖЭ жобалары Қазақстан Республикасында 2006 жылдан бастап іске асырылуда. Соңғы уақытта МЖЭ жандануы заңнамалық және институционалдық базаны жетілдірумен байланысты болды. 2012 жылдан бастап 2020 жылға дейінгі кезеңде заңнамаға МЖЭ саласын кеңейтуге бағытталған өз-

герістер енгізілді және МЖЭ жобаларын қарау кезінде жергілікті атқарушы органдардың дербестігі кеңейтілді. МЖЭ туралы Заңға сәйкес мынадай мүмкіндіктер ұсынылды: МЖЭ экономиканың барлық салаларында пайдалану; келісім-шарттардың нысандары мен түрлерін кеңейту; жобаға мемлекеттік мекеме емес, жеке сектор бастамашы болған кезде жеке қаржылық бастаманы енгізу; МЖЭ жобаларын жоспарлаудың мерзімдерін қысқарту және арнайы рәсімін әзірлеу [3]. Бұл мүмкіндіктер МЖЭ келісім-шарттары санының артуына алып келді. 2023 жылғы жағдай бойынша республикада 2022 жылға дейінгі кезеңде жалпы алғанда 1313 жоба ұсынылды, оның ішінде 78 жоба Ақмола облысында жүзеге асырыла бастады және үлесі 5,94% құрайды [4] МЖЭ жобалары санының күрт өсуі оларға талдау жасауды қажет етеді.

Зерттеу мақсаты – Ақмола өңірінде жүзеге асырылған МЖЭ жобаларына динамикалық, корреляциялық-регрессиялық талдау жасай отырып, МЖЭ өңірдің экономикалық өсуіне әсерін анықтау. Қойылған мақсатқа сәйкес келесі міндеттер қойылды:

- Ақмола облысында 2018-2022 жылдар аралығында жасалған МЖЭ келісім-шарттары бойынша ұсынылған және жүзеге асырылған жобаларға динамикалық талдау жасау;
- жүзеге асырылған МЖЭ жобаларына құрылымдық және корреляциялық-регрессиялық талдау жасау;
- өңірдің экономикалық өсуіне МЖЭ жобалардың әсерін анықтау.

Материалдар және әдістер. Зерттеу нысаны Ақмола облысындағы 2018-2022 жылдардағы МЖЭ жобаларының саны болып табылады. Зерттеу пәні өңірдің МЖЭ жобаларына талдау жасау.

Мемлекеттік-жекеменшік әріптестік - бұл 1990 жылдардың басында Еуропада мемлекеттің нарықтық экономикаға қатысуының жаңа құралы және жекешелендіруге балама ретінде пайда болған жаңа институт [5]. Шетелдік МЖЭ зерттеулерінің ішінде Хакман, Р.Дж. Беннетт пен Г. Кребс 1994, Дж. Селлгрена (1990), Э.Осборна (2003), С. Стерн және Д. Хардина (2005), Дж.

Бродбент және Дж. Левфлина 2003, Ходж және К.Грива (2007), Э.Р. Яскомба (2007) және т. б. атап өтуге болады.

МЖЭ шетелдік зерттеулер шеңберінде бірнеше тұжырымдамалық тәсілдерді бөліп көрсетуге болады. МЖЭ экономикадағы өз орны мен рөлін анықтады:

1. МЖЭ сөзі кең мағынада қайырымдылыққа, корпоративтік әлеуметтік жауапкершілікке және т. б. негізделген бизнес пен мемлекет ынтымақтастығының кез келген нысаны ретінде түсіндірілді [6].

2. МЖЭ ұйымдық құрылым және «жаңа мемлекеттік басқару» құралы ретінде Ю.Ван Хам және Д. К. Коппен Жан (2001), Дж. Бродбент және Дж. Люфлин (2003). жұмыстарында ескерілді. Осы тәсілге сәйкес МЖЭ мемлекеттік реттеудің, мемлекеттік меншіктің стратегиялық және өмірлік маңызды объектілерін жекешелендірудің баламасы ретінде түсіндірілді. Алайда, бұл зерттеулер тиімді ұйымдастырушылық тетіктерді мен әдістерді табуға бағытталған [7].

3. Е.С. Саваз (2000), М. Губельман және Х. Дельмонет (1983) «сөз ойыны» деп түсіндірді. Мұндай тәсілге сәйкес авторлар жағымды емес, жағымсыз жақтары мен МЖЭ тәуекелдерін атап өтті. Олар кемшіліктер мен мәселелерді қоса отырып, мемлекеттік объектілерді жекешелендірудің жасырын нысаны екенін түсіндірді [8].

4. МЖЭ тетігі ұлттық, халықаралық, өңірлік, қалалық, муниципалдық, экономикалық және әлеуметтік даму құралы ретінде түсіндірілді [9].

Мемлекет пен жеке бизнес арасындағы қарым-қатынастың теориялық негіздері шетелдік экономистер Фишер г., Портер М., Стиглиц Д. және басқалардың зерттеулерінде көрсетілген. Тұжырымдаманың ТМД және МЖЭ практикасындағы негіздері отандық экономикаға тән ерекшеліктерді ескере отырып, В.А. Королев, В.Г. Барнабский, А.В. Клименко, В.А. Кабашкин және т. б. қарастырды [10].

Қазақстандағы МЖЭ байланысты мәселелер А.В. Пиунованың, Ф. Смағұлованың, Г.Ш. Ишкенинаның және т. б. жұмыстарында қаралған, Қазақстанда МЖЭ мүмкіндіктері зерделенген

және толық көлемде пайдаланылмаған, оның практикасы қолданыстағы заңнама шеңберінде әріптестіктің рұқсат етілген нысандарын пайдаланудың бірнеше мысалын ғана анықтауға мүмкіндік береді.

Шетелдік ғалымдардың жұмыстарында МЖЭ мәні былай қарастырылған:

- Ходж және К.Грива еңбектеріне сәйкес МЖЭ мемлекеттік және жеке ұйымдар арасындағы тығыз ұйымаралық байланыстарды басқару және қаржыландыру тетігі ретінде қарау ұсынылады [11].

- Ю. Ван Хам және Д. К. Коппен МЖЭ институционалдық тұрғыдан мемлекеттік және жеке құрылымдар арасындағы белгілі бір ынтымақтастық, осы ынтымақтастық аясында өнімдер мен қызметтер өндірісін бірлесіп дамыту және осыған байланысты шығындар мен ресурстарды, тәуекелдерді бөлу деп түсіндірді. Басқа тұрғыдан алғанда, МЖЭ «құрылыс-иелену-жеткізу» және «өсіру-іске қосу-жеткізу» тетіктері арқылы инфрақұрылымдық жобаларға қатысу ретінде түсіндіріледі [12].

- С. Линдердің балама көзқарасы бойынша МЖЭ - бұл «сөз ойыны», яғни серіктестік туралы бірнеше пайдалы сөздер. Бұл сөз жылы және достық сөйлемдерден тұрады [13]. Осылайша, мемлекеттік органдар мен жеке бизнес-құрылымдар арасында жақсы үйлестірілген әріптестік қатынастарды орнату арқылы инфрақұрылымдық мәселелерді шешуге болады, бірақ МЖЭ іске асыру және оның нәтижесін дәл өлшеу мүмкін емес [14]. Бұл көзқарас МЖЭ сыни көзқарас тұрғысынан қарастырылады. Бұдан басқа, МЖЭ көптеген кемшіліктері мен мәселелері бар мемлекеттік мүлікті жекешелендірудің түрлендірілген нысаны жоғары тәуекелді көрсетеді.

- 2015 жылғы 31 қазанда қабылданған «Мемлекеттік-жекешелік әріптестік туралы» Заңға сәйкес МЖЭ мемлекеттік әріптес пен МЖЭ сипаттамаларына сәйкес келетін жекеше әріптес арасындағы ынтымақтастық нысаны болып табылады.

Бүгінгі таңда зерттеу нәтижелері бойынша

МЖӘ байланысты бірыңғай жалпы анықтама жоқ екенін атап өтуге болады. Біздің ойымызша, мемлекеттік - жекеменшік әріптестік (МЖӘ) - бұл инфрақұрылымдық жобаларда кеңінен қолданылатын мемлекеттік және жеке секторлар арасындағы ынтымақтастық туралы ұзақ мерзімді концессиялық келісім. Сонымен қатар осы тақырыпты зерделеудің терең әзірленген әдіснамасы ұсынылмаған, МЖӘ тетіктеріне экономикалық талдау жүргізілген жоқ.

Зерттеу барысында экономикалық-статистикалық топтау, динамикалық талдау, құрылымдық талдау, салыстырмалы талдау әдістері қолданылды. Ақмола облысында іске асырылған МЖӘ жобаларды топтастыру әдісімен экономика салалары бойынша топтастырылды. Динамикалық талдау әдісімен 2018 жылдан бастап 2022 жылға дейінгі кезеңде іске асырылған МЖӘ жобаларының абсолюттік өсу қарқыны мен өсім қарқыны айқындалды. Р. Харрод пен Е. Домар моделі бойынша экономиканың өсу қарқынын есептеу үшін келесі формула қолданылды [15]:

$$TP = S / C$$

мұндағы, TP – экономикалық өсу қарқыны;

S - инвестицияның жиынтық табысқа қатынасы;

C - капитал сыйымдылығы.

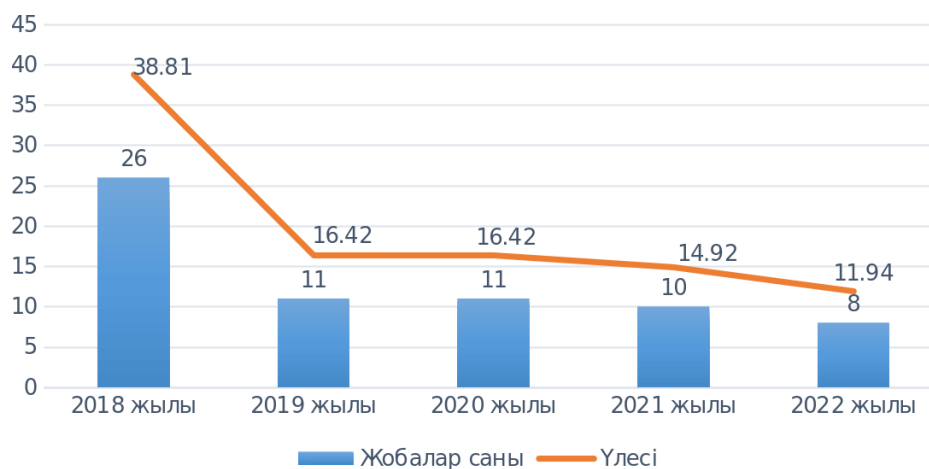
Экономиканың өсу қарқынына факторлық талдау жасау үшін келесі формулалар қолданылды:

$\Delta TP_s = \frac{S_1}{C_0} - \frac{S_0}{C_0}$ - инвестицияның жиынтық табысқа қатынасының өзгеру әсерінен экономикалық өсу қарқынының өзгеруі;

$\Delta TP_c = \frac{S_1}{C_1} - \frac{S_1}{C_0}$ - капитал сыйымдылығының өзгеру әсерінен экономикалық өсу қарқынының өзгеруі;

$\Delta TP = \Delta TP_c \pm \Delta TP_s$ - факторлардың өзгеру әсерінен экономикалық өсу қарқынының жалпы өзгеруі.

Нәтижелер және талқылау. 2018-2022 жылдар аралығында Ақмола облысында жүзеге асырылған МЖӘ жобаларының саны туралы ақпараттар 1-суретте келтірілген:



1-сурет. 2018-2022 жылдарғы Ақмола облысы бойынша жүзеге асырылған МЖӘ жобаларының саны

Ескерту - [4] әдебиеттен алынған мәліметтер негізінде авторлармен құрастырылған

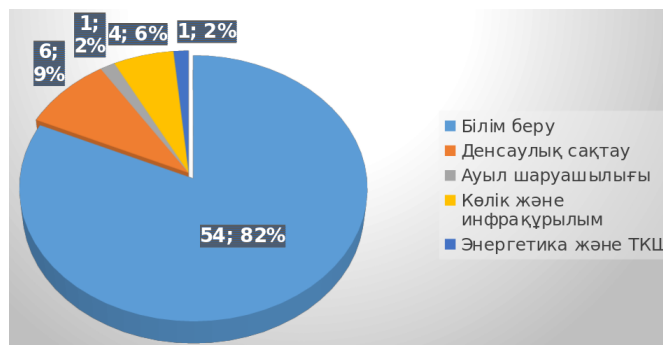
1-суретке сәйкес Ақмола облысында 2018-2022 жылдар аралығында барлығы 66 МЖӘ жобасы жүзеге асырыла бастаған, ең көп жоба 2018 жылға тиесілі және одан кейінгі жылдары күрт азайғандығын көруге болады. Сонымен жүзеге асырылған жобалардың үлесі 2018 жы-

лы – 38,81%, 2019 жылы – 16,42%, 2020 жылы – 16,42%, 2021 жылы – 14,92%, 2022 жылы - 11,94% құраған.

МЖӘ жобалары әр түрлі салаларды қамтыған. Ең көбі білім беру саласында -54 жоба, денсаулық

сақтау – 6 жоба, энергетика және тұрғын үй коммунальдық шаруашылығы – 1 жоба, көлік және инфрақұрылым – 4 жоба, ауылшаруашылығында – 1 жоба нақты іске асырылып жатыр. Нақты іс-

ке асырылып жатқан жобалардың экономика салалары бойынша үлесі де анықталды және салалар бойынша үлесі келесі 2-суретте берілген:



2-сурет. Ақмола облысы бойынша МЖӘ жобаларының құрылымы

Ескерту - [4] әдебиеттен алынған мәліметтер негізінде авторлармен құрастырылған

2-суретке сәйкес МЖӘ жобаларының ішінде білім беру саласы бойынша жасалған жобалардың үлесі - 82%, денсаулық сақтау саласы - 9%, энергетика және тұрғын үй коммунальдық шаруашылығы саласы – 2%, көлік және инфрақұрылым саласы - 6% және ауыл, орман және балық шаруашылығы саласы - 1% құрап отыр. МЖӘ жобалары бойынша ең көп келісім-шарт жасалған сала білім беру саласы, өйткені республика деңгейін-

де мектепке дейінгі білім беру мәселесі өте өзекті болған еді. МЖӘ арқылы балабақшалар жұмысын тиімді ұйымдастыруға жеке бизнес өкілдері белсенді араласып, балабақша тапшылығын толықтай жойды.

Әрі қарай Ақмола облысының экономикалық өсу қарқынына талдау жасалды және нәтижесі келесі 1-кесте берілген.

1 - кесте. 2018-2022 жылдарғы Ақмола облысының экономикалық өсу қарқыны

Көрсеткіштер	2018	2019	2020	2021	2022	Орташа өсу қарқыны, %
ЖӨӨ өсу қарқыны	109,5	113,7	118,1	117,3	125,3	116,78
ЖӨӨ өсім қарқыны	9,5	13,7	18,1	17,3	25,3	16,78
Өнеркәсіптік өндіріс көлемінің өсім қарқыны	23,2	17,5	19,9	31,5	9,5	20,32

Ескерту - [4] әдебиеттен алынған мәліметтер негізінде авторлармен құрастырылған

1-кестеге сәйкес 2018-2022 жылдары аралығында Ақмола облысының экономикалық өсу қарқыны орташа есеппен 116,78%, орташа өсім қарқыны 16,78% және өнеркәсіптік өндіріс көлемі орташа өсім қарқыны 20,32% құраған. ЖӨӨ өсім қарқының құлашы 15,8% құраған. Ең жоғарғы өсім қарқыны 2022 жылы 25,3% құраған және ең төменгі өсім қарқыны 2018 жылы 9,5% құраған. Өнеркәсіптік өндіріс көлемінің ең

жоғарғы өсім қарқыны 2021 жылы - 31,5% өскен болса, ең төменгі өсім қарқыны 2022 жылы – 9,5% өскенін көруге болады. Бұл көрсеткіштің 2018-2020 жылдар аралығында кемігендігін байқауға болады.

Р. Харрод пен Е. Домар моделі бойынша экономиканың өсу қарқынына талдауға қажетті мәліметтердің орташа абсолюттік өсімі есептелді және талдау нәтижесі 2-кестеде берілген.

2 - кесте. 2018-2022 жылдарғы Ақмола облысының экономикалық өсу қарқынын сипаттайтын көрсеткіштердің орташа абсолютті өсімі

Көрсеткіштер	2018	2019	2020	2021	2022	Орташа абсолюттік өсім
Негізгі капитал, млрд тг	145,3	1619,3	1481,5	1683,8	2162,8	1418,54
Өндірілген өнімнің көлемі, млрд тг	536,4	553,3	686,4	827	1 542, 2	650,78
Жиынтық табыс, млрд тг	230,4	332	516,3	484,7	1 936,6	390,85
Негізгі капиталға жасалған инвестициялар, млрд тг	278,1	333,7	436,6	514, 6	566,5	403,73

Ескерту - [4] әдебиеттен алынған мәліметтер негізінде авторлармен құрастырылған

3 - кесте. 2018-2022 жылдарғы Ақмола облысының экономиканың өсу қарқынын Р. Харрод пен Е. Домар моделі бойынша талдау

Көрсеткіштер	2018	2019	2020	2021	2022	Орташа өсу қарқыны
Инвестицияның жиынтық табысқа қатынасы, S	1,21	1,01	0,85	1,06	0,29	0,88
Капитал сыйымдылығы, C	2,71	2,93	2,16	2,04	1,4	2,25
Экономиканың өсу қарқыны, TP	0,45	0,34	0,39	0,52	0,21	0,38
Экономиканың өсу қарқыны, TP, %	44,6	34,4	39,2	52,2	20,9	38,26

Ескерту - [4] әдебиеттен алынған мәліметтер негізінде авторлармен құрастырылған

4 - кесте. 2018-2022 жылдарғы Ақмола облысының экономиканың өсу қарқынын Р. Харрод пен Е. Домар моделі бойынша факторлық талдау

Факторлар	2018	2019	2020	2021	2022	Орташа мәні
1 фактор	-0,075	-0,075	-0,054	0,1	-0,378	-0,096
2 фактор	0,018	-0,028	0,103	0,03	0,065	0,038
Жалпы өзгерісі	0,093	-0,102	0,048	0,13	-0,313	-0,029

Ескерту - [4] әдебиеттен алынған мәліметтер негізінде авторлармен құрастырылған

2-кесте бойынша 2018-2022 жылдар аралығында Ақмола облысы бойынша экономикалық өсу қарқынын сипаттайтын көрсеткіштердің орташа абсолюттік өсімі мынаны көрсетті: негізгі капитал – 1418,54 млрд тг, өндірілген өнімнің көлемі – 650,78 млрд тг, жиынтық табыс – 390,85 млрд тг, негізгі капиталға жасалған инвестициялар – 403,73 млрд тг өскен.

Осы көрсеткіштер бойынша Р. Харрод пен Е.

Домар моделі негізінде 2018-2022 жылдар аралығында Ақмола облысының экономикалық өсу қарқынына талдау жасалды және талдау нәтижесі келесі 3-кестеде көрсетілген.

3-кестеге сәйкес 2018-2022 жылдарғы Ақмола облысының экономиканың өсу қарқынын Р. Харрод пен Е. Домар моделі бойынша мынаны көрсетті: инвестицияның жиынтық табысқа қатынасы орташа есеппен 0,88 млн тг, капитал сыйым-

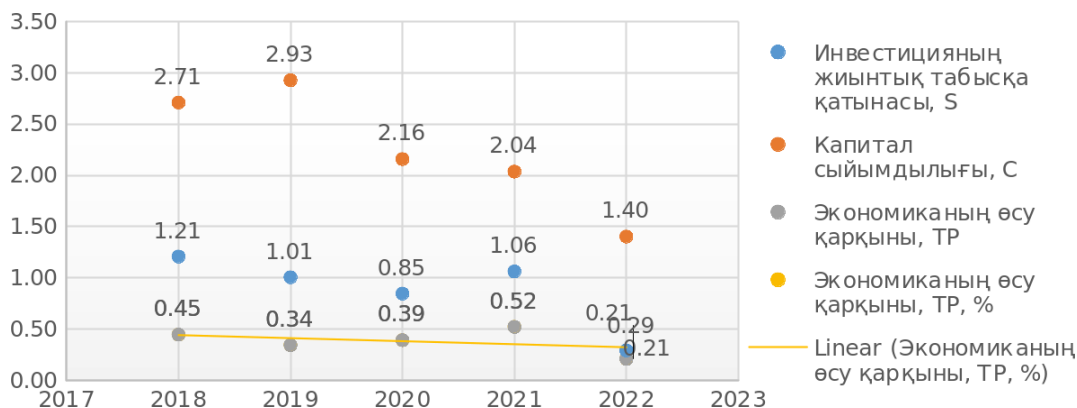
дылығы 2,25 млн тг, экономиканың өсу қарқыны 0,38 немесе 38,26% өскен.

Бұдан әрі экономикалық өсуді сипаттайтын көрсеткіштерге факторлық талдау жасалды және нәтижесі келесі 4-кестеде берілген:

4-кесте бойынша 2018-2022 жылдар аралығында Ақмола облысының экономикалық өсуі факторлардың өзгеру әсерінен орташа есеппен -0,096 млн тг азайған, соның ішінде инвестицияның жиынтық табысқа қатынасының азаюы әсерінен 0,038 млн тг және капитал сыйымдылығының азаюы әсерінен 0,029 млн тг азайған.

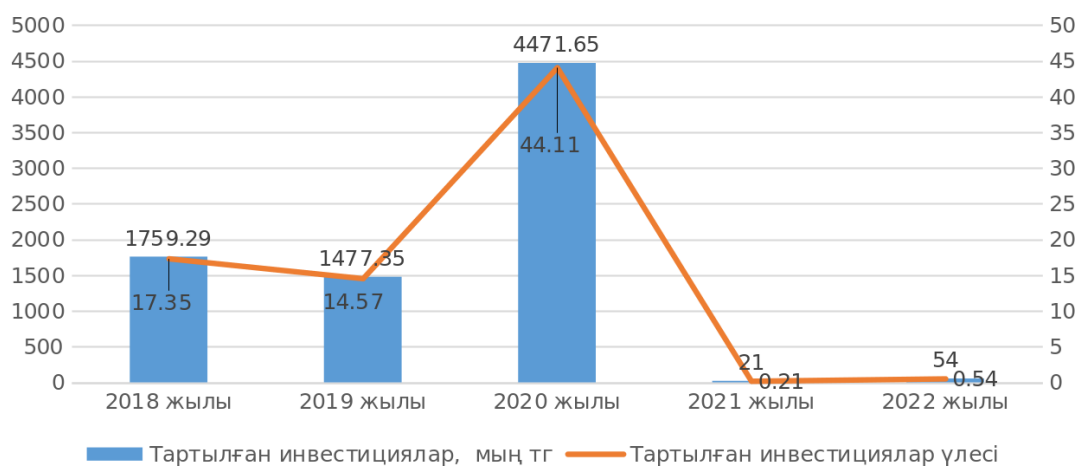
Өңірлік экономиканың негізгі және дәстүр-

лі әдістерінің бірі - өңірлердің әлеуметтік-экономикалық дамуын талдау. Талдаудың мақсаты - әлеуметтік-экономикалық даму стратегиясында қарастырылған экономикалық өсуді негіздеу үшін сәйкессіздіктер мен пайдаланылмаған мүмкіндіктерді анықтау болып табылады. Осы тұрғыда біздің зерттеу Ақмола облысының экономикалық дамуына МЖӘ әсерін анықтау болып табылады. Экономикалық дамуды сипаттау үшін экономикалық өсу коэффициенті қолданылды. 2018-2022 жылдар аралығында Ақмола облысының экономикалық өсуі келесі 4-суретте көрсетілген:



3 - сурет. 2018-2022 жылдары Ақмола облысының экономикалық өсуі

Ескерту - [4] әдебиеттен алынған мәліметтер негізінде авторлармен құрастырылған



4 - сурет. 2018-2022 жылдарғы Ақмола облысы бойынша жүзеге асырылған МЖӘ жобаларынан тартылған инвестиция көлемі мен үлесі

Ескерту - [4] әдебиеттен алынған мәліметтер негізінде авторлармен құрастырылған

3-суретке сәйкес 2018-2022 жылдары Ақмола облысының экономикалық өсуі 0,45-0,21% аралығын көрсетеді және жылдан жылға біртіндеп азайған. Сондай-ақ инвестицияның жиынтық табысқа қатынасы 2,71-1,4 млн тг, капитал сыйымдылығы 1,21-0,21 млн тг азайған.

2018-2022 жылдар аралығында Ақмола облысы бойынша жүзеге асырылған МЖЭ жобаларынан тартылған инвестиция көлемі мен оның үлесі туралы келесі 3-суретте берілген:

4-суретке сәйкес Ақмола облысында 2018-2022 жылдар аралығында барлығы 7783,26 мың теңге көлемінде инвестиция тартты және осы жылдар аралығында тартылған инвестициялар орташа есеппен 15,36% үлесті құрады. МЖЭ жобаларынан тартылған инвестиция 2020 жылдан кейін күрт азайып кеткендігін көреміз, себебі коронавирустан кейінгі жағдай қаржылық тапшылыққа алып келгені бір жағынан, 2020 жылға дейін қаржылық жабылуға қол жеткізген жобалардың болуы екінші жағынан әсер етті. Сонымен жобалардан тартылған инвестициялар көлемі мен үлесі 2018 жылы – 1759,29 мың тг немесе 17,35%, 2019 жылы – 1477,35 мың теңге немесе 16,42%, 2020 жылы – 4471,65 мың теңге немесе 44,11%, 2021 жылы – 21 мың теңге немесе 0,21%, 2022 жылы – 54 мың теңге немесе 0,54% құраған.

Жалпы Ақмола облысының экономикалық даму деңгейі 2020 жылдан кейін күрт төмендеген және сәйкесінше МЖЭ тартылған инвестиция да, жалпы инвестицияда азайғанын көреміз. Оның негізгі себебі коронавирус кезеңінен кейінгі экономикалық құлдырау екендігімен түсіндіруге болады.

Қорытынды. МЖЭ жобалары өнімнің экономикасын диверсификациялауға және өсуіне ықпал етеді. Жаңа жобалар, әсіресе инфрақұрылымдық жобалар, бизнесті дамытуға және экономикалық белсенділікті арттыруға мүмкіндік береді. Өнімнің әлеуметтік-экономикалық дамуын қамтамасыз ету үшін МЖЭ арқылы әлеуметтік маңызы бар жобаларды іске асыруға болады. Ақмола облысында МЖЭ жобаларын 2018 жылдан бастап сәтті жүзеге асыруда. Соңғы жылдары іске асырылған МЖЭ жобалары туралы сандық ақпаратты экономикалық-статистикалық

талдаумен бағалау, атап айтқанда, экономиканың қандай секторларында жобалар іске асырылатынын, МЖЭ қандай түрін шаруашылық жүргізуші субъектілер жиі пайдаланатынын, ұлттық деңгеймен салыстырғанда қанша инвестиция тартылғанын бағалау және нәтижелерді талқылау орындалды. Талдау нәтижесі бойынша мынандай қорытынды жасауға болады:

1. Ақмола облысы бойынша барлығы 78 жоба ұсынылған, оның 66 нақты жүзеге асырыла бастаған, яғни әзірленген жобалардың 68,4% жүзеге асырылды дегенді білдіреді. Бұл Ақмола өңірі бойынша МЖЭ жобаларын әзірлеу және жүзеге асыру белсенділігін көрсетеді.

2. Жобаларды жүзеге асырудың динамикасына жүргізілген талдау бойынша 2018 жылы жүзеге асырылған жобалардың абсолюттік өсімі 21 жобаға немесе 3.5 есеге өскенін байқауға болады. 2018 жылы жобалар санының өсуінің негізгі себебі балабақша мәселесінің өзекті болуына байланысты мектепке дейінгі білім беру орталықтарын құру бойынша жобалар жүзеге асырылды. Оған мемлекет қатты көңіл бөлді. Сөйтіп МЖЭ арқылы балабақша мәселесі шешілді. Ал 2020 жылы жобалар үлесі 27.3% кеміген. Оның негізгі себебі жаппай коронавирустың таралуына байланысты МЖЭ жобаларын конкурстан өткізу мәселелері туындады және жеке бастамашылдыққа басымдылық беру нәтижесінде жүзеге асырылатын жобалар саны күрт азайып кетті.

3. Ақмола облысы бойынша жүзеге асырылған жобалардың барлығы экономиканың мынандай бес саласын ғана қамтыған: транспорт және инфрақұрылым бойынша 6%; білім беру – 82%; ауыл, орман және балық шаруашылығы – 2%; денсаулық сақтау – 9%; энергетика және тұрғын үй коммуналдық шаруашылығы – 6% құрап отыр. Жалпы Ақмола облысы аграрлық-көңір болғандықтан ауыл, орман және балық шаруашылығы саласында жобаларды жүзеге асыруды көбейту керек.

- Ақмола облысы бойынша МЖЭ сәтті жүзеге асыру үшін тұрақты инвестициялық климат құру қажет және оған әсер ететін мынандай факторларды ескеру қажет: үрдісті жүзеге асыру және алға жылжыту үшін мамандар қажет; үрдіске ық-

пал ететін заңнама; қаржылық қолдау.

1,21-0,21 млн тг азайған.

4. 2018-2022 жылдары Ақмола облысының экономикалық өсуі 0,45-0,21% аралығын көрсетеді және жылдан жылға біртіндеп азайған. Сондай-ақ инвестицияның жиынтық табысқа қатынасы 2,71-1,4 млн тг, капитал сыйымдылығы

Осы аталған ұсыныстарды ескерген жағдайда болашақта МЖӘ тиімді пайдаланып өндірінің әлеуметтік-экономикалық мәселелерін шешуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер

1. Regan M., Smith J. Public infrastructure procurement: A review of adversarial and non-adversarial contracting methods // *Journal of Public Procurement*. -2015. –Vol.15 (4). –P. 405-438.
<https://doi.org/10.1108/JOPP-15-04-2015-B001>
2. Юрьева, Т. В. Государственно-частное партнерство в современной экономике: зарубежный опыт и российская практика // *Статистика и экономика*. -2013. -№ 6. –С. 127-130.
3. Қазақстан Республикасының Кәсіпкерлік Кодексі 2015 жылғы 29 қазандағы № 375-V (өзгерістер енгізілді-ҚР 03.07.2019 № 262-VI Заңымен). <https://adilet.zan.kz/kaz/>
4. База проектов. http://kzppp.kz/project_base
5. Мемлекеттік-жекешелік әріптестік туралы Қазақстан Республикасының Заңы 2015 жылғы 31 қазандағы № 379-V ҚРЗ. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/Z1500000379>
6. Герасименко О.А., Авилова Ж.Н., Осадчая С.М. Оценка эффективности региональных проектов государственно-частного партнерства // *Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права*. -2019.- № 1. - С. 102-109. <https://doi.org/10.21295/2223-5639-2019-1-102-109>
7. Mazharova L.A. Концептуальная модель оценки эффективности ГЧП-проектов. -2020. -Т.9. -№ 2. DOI:10.12731/2070-7568-2020-2-133-150
8. Berezin A, Bruno S, Gorodnova N. Efficiency Assessment of Public-Private Partnership (PPP) Projects: The Case of Russia. -*Sustainability*, 2018. –Vol. 10(10) <https://doi.org/10.3390/su10103713>
9. Peter E.D. Shared leadership, value and risks in large scale transport projects: Re-calibrating procurement policy for post COVID-19 // *Research in Transportation Economics*. -2020.
<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100999>
10. Бакшеева, А. Д. Взаимодействия государства, бизнеса и образовательных организаций в рамках государственно-частного партнерства // *Государственно-частное партнерство*. -Т 3. -№ 1. -С 63-78. DOI:10.18334/ppp.3.1.35139
11. Verhoest, K., Petersen, O.H., Scherrer, W., Soeipto, R.M. How do governments support the development of public private partnerships? Measuring and comparing PPP governmental support in 20 European countries // *Transport Reviews*. -2015. –Vol. 35(2). –P. 118-139. DOI:10.1080/01441647.2014.993746
12. Wang, H., Liu, Y., Xiong, W., & Zhu, D. (2019). Government support programs and private investments in PPP markets // *International Public Management Journal*. –Vol. 22(3). –P. 499-523.
<https://doi.org/10.1080/10967494.2018.1538025>
13. Peer, N.O. Public Purpose Finance: The Government's Role as Lender // *Law & Contemp. Probs*. -2020. URL: <https://scholarship.law.duke.edu/lcp/vol83/iss1/7>
14. Wollmann, H. Verwaltungspolitische Strategie-und Politikwechsel im internationalen Vergleich: Zwischen Konvergenz und Divergenz // *Gesellschaft mit beschränkter Hoffnung: Reformfähigkeit und die Möglichkeit rationaler Politik*, Festschrift für Helmut Wiesenthal. -2004. -P. 116-144.

https://doi.org/10.1007/978-3-322-80467-9_6

15. Елисеев, А. В. Экономический рост в транзитивной экономике: дис. ... к.э.н. - Челябинск, 2003. –184 с.

References

1. Regan M., Smith J. Public infrastructure procurement: A review of adversarial and non-adversarial contracting methods // Journal of Public Procurement. -2015. –Vol.15 (4). –P. 405-438.
<https://doi.org/10.1108/JOPP-15-04-2015-B001>
2. Jur'eva, T. V. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo v sovremennoj jekonomike: zarubezhnyj opyt i rossijskaja praktika // Statistika i jekonomika. -2013. -№ 6. –S. 127-130. [in Russian]
3. Qazaqstan Respýblikasynyń Azamattyq Kodeksi 2015 jylǵy 29 qazandaǵy № 375-V (ózerister týraly zań-QR 03.07.2019 № 262-VI Zańymen). <https://adilet.zan.kz/kaz/> [in Kazakh]
4. Baza proektov. http://kzppp.kz/project_base [in Russian]
5. Memlekettik-jekeshelik áriptestik týraly qazaqstan Respýblikasynyń Zańy 2015 jylǵy 31 qazandaǵy № 379-V QRZ. <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/Z1500000379> [in Kazakh]
6. Gerasimenko O.A., Avilova Zh.N., Osadchaja S.M. Ocenka jeffektivnosti regional'nyh proektov gosudarstvenno-chastnogo partnerstva // Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperacii, jekonomiki i prava. -2019.- № 1. - S. 102-109. <https://doi.org/10.21295/2223-5639-2019-1-102-109> [in Russian]
7. Mazharova L.A. Konceptual'naja model' ocenki jeffektivnosti GChP-proektov. -2020. -Т. 9. -№ 2. DOI:10.12731/2070-7568-2020-2-133-150 [in Russian]
8. Berezin A, Bruno S, Gorodnova N. Efficiency Assessment of Public-Private Partnership (PPP) Projects: The Case of Russia. -Sustainability, 2018. –Vol. 10(10) <https://doi.org/10.3390/su10103713>
9. Peter E.D. Shared leadership, value and risks in large scale transport projects: Re-calibrating procurement policy for post COVID-19 // Research in Transportation Economics. -2020.
<https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100999>
10. Baksheeva, A. D. Vzaimodejstviya gosudarstva, biznesa i obrazovatel'nyh organizacij v ramkah gosudarstvenno-chastnogo partnerstva // Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo. -Т 3. -№ 1. -S 63-78. DOI:10.18334/ppp.3.1.35139 [in Russian]
11. Verhoest, K., Petersen, O.H., Scherrer, W., Soeipto, R.M. How do governments support the development of public private partnerships? Measuring and comparing PPP governmental support in 20 European countries // Transport Reviews. -2015. –Vol. 35(2). –P. 118-139.
DOI:10.1080/01441647.2014.993746
12. Wang, H., Liu, Y., Xiong, W., & Zhu, D. (2019). Government support programs and private investments in PPP markets // International Public Management Journal. –Vol. 22(3). –P. 499-523.
<https://doi.org/10.1080/10967494.2018.1538025>
13. Peer, N.O. Public Purpose Finance: The Government's Role as Lender //Law & Contemp. Probs. -2020. URL: <https://scholarship.law.duke.edu/lcp/vol83/iss1/7>
14. Wollmann, H. Verwaltungspolitische Strategie-und Politikwechsel im internationalen Vergleich: Zwischen Konvergenz und Divergenz // Gesellschaft mit beschränkter Hoffnung: Reformfähigkeit und die Möglichkeit rationaler Politik, Festschrift für Helmut Wiesenthal. -2004. -P. 116-144.

https://doi.org/10.1007/978-3-322-80467-9_6

15. Eliseev, A. V. Jekonomicheskij rost v tranzitivnoj jekonomike: dis. ... k.je.n. -Cheljabinsk, 2003.–184 s. [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет

Рейдолда С. -«Экономика және қаржы» кафедрасының аға оқытушысы, магистр, К.Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: Saulegul0408@gmail.com;

Бержанова А.М. -экономика ғылымдарының кандидаты, экономика және кәсіпкерлік кафедрасының қауым. профессоры Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: aigul_berjanova@list.ru;

Карпенко О.А. - Қаржы және несие кафедрасының доценті, РУДН, Мәскеу, Ресей, e-mail: karpenko_oa@rudn.university;

Садвоқасова К.Ж. - экономика ғылымдарының докторы, ”Экономика және қаржы” кафедрасының профессоры, Қ.Құлажанов атындағы қазақ Технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: ksadvokas@mail.ru;

Жабытай Б.Н. - PhD, «Экономика және қаржы» кафедрасының қауымдастырылған профессордың м.а, К.Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университет, Астана, Қазақстан, e-mail: bayana_7778@mail.ru;

Алпысбаева А.К.- экономика ғылыми кандидаты, «Экономика және қаржы» кафедрасының қауымсыздырылған профессор (доцент) К.Кулажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университет, Астана, Қазақстан, e-mail: alpysbayeva.ainur77@mail.ru

Information about the authors

Reidolda S. -Senior teacher of the Department of Economics and Finance, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Saulegul0408@gmail.com;

Berzhanova A.M. -candidate of Economic Sciences, Associate professor of the Department of Economics and entrepreneurship L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aigul_berjanova@list.ru;

Karpenko O.A.- Associate professor of the Department of Finance and Credit, RUDN, Moscow, Russian, e-mail: karpenko_oa@rudn.university;

Sadvokassova K. -doctor of economic sciences, professor of the Department ”Economics and finance”, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: ksadvokas@mail.ru;

Zhabytai B.N. -PhD, acting Associate Professor of the Department Economics and Finance, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: bayana_7778@mail.ru;

Alpysbayeva A. -candidate of Economic Sciences, Associate professor of the Department of Economics and Finance, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: alpysbayeva.ainur77@mail.ru

THE IMPACT OF FOREIGN AID ON THE ECONOMIC GROWTH OF CENTRAL ASIAN COUNTRIES (analytical review)

¹A.Serikkyzy, ³S.S. Baktymbet✉, ²M. Ermirzoev, ¹A.B. Akhmetova

¹ALMAU, Almaty, Kazakhstan,

²University of Central Asia, Khorog, Republic of Tajikistan,

³Academy of Political Management, Astana, Kazakhstan

✉Corresponding author: saule_sbs@mail.ru

This study explores the relationship between foreign financial aid and economic growth in Central Asian countries. Foreign aid is viewed as a critical resource for promoting long-term growth by addressing key challenges such as infrastructure, healthcare, and education. However, the effectiveness of aid remains contentious, with critics arguing that it may foster dependency, corruption, and inefficient use of resources. Central Asia, comprising countries like Kazakhstan, Kyrgyzstan, Uzbekistan, Tajikistan, and Turkmenistan, has received substantial foreign financial aid since gaining independence following the dissolution of the Soviet Union. While some scholars suggest that foreign aid has positively impacted the economic growth of Central Asian nations, others argue that it has had minimal or even negative effects. This study emphasizes the importance of evaluating not only the amount of aid but also its effectiveness, with a particular focus on the role of institutional quality in determining the success of aid in promoting sustainable economic development.

Keywords: foreign aid, economic growth, Central Asia, dependence, corruption.

ВЛИЯНИЕ ИНОСТРАННЫХ ИНВЕСТИЦИЙ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ СТРАН ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ (аналитический обзор)

¹А.Серікқызы, ³С.С.Бақтымбет✉, ²М.Ермирзоев, ¹А.Б.Ахметова

¹Университет ALMAU, Алматы, Казахстан,

²Университет Центральной Азии, г. Хорог, Республика Таджикистан,

³Академия политического менеджмента, Астана, Казахстан,

e-mail:saule_sbs@mail.ru

В этом исследовании изучается взаимосвязь между иностранными инвестициями и экономическим ростом стран Центральной Азии. Иностранные инвестиции со стороны зарубежных государств рассматриваются как критически важный ресурс для содействия долгосрочному росту путем решения таких ключевых задач, как инфраструктура, здравоохранение и образование. Однако эффективность помощи остается спорной, поскольку критики утверждают, что она может способствовать зависимости, коррупции и неэффективному использованию средств. Центральная Азия, включающая в себя такие страны, как Казахстан, Кыргызстан, Узбекистан, Таджикистан и Туркменистан, получила значительную зарубежную финансовую помощь с момента обретения независимости после распада Советского Союза. В этом исследовании подчеркивается важность оценки не только количества помощи, но и ее эффективности, с особым акцентом на роль институционального качества в определении успеха помощи в содействии устойчивому экономическому развитию.

Ключевые слова: иностранные инвестиции, экономический рост, Центральная Азия, зависимость, коррупция.

ШЕТЕЛДІК ИНВЕСТИЦИЯЛАРДЫҢ ОРТАЛЫҚ АЗИЯ ЕЛДЕРІНІҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ӨСУІНЕ ӘСЕРІ (аналитикалық шолу)

¹А.Серікқызы, ³С.С. Бақтымбет✉, ²М.Ермирзоев, ¹А.Б. Ахметова

¹Алматы менеджмент университеті ALMAU, Алматы, Қазақстан,

²Орталық Азия Университеті, Хорог, Тәжікстан Республикасы,

³Саяси менеджмент Академиясы, Астана, Қазақстан,

e-mail:saule_sbs@mail.ru

Бұл зерттеу шетелдік қаржылық көмек пен Орталық Азия елдерінің экономикалық өсуі арасындағы байланысты зерттейді. Шет мемлекеттердің қаржылық көмегі инфрақұрылым, денсаулық сақтау және білім беру сияқты негізгі міндеттерді шешу арқылы ұзақ мерзімді өсуге ықпал ететін маңызды ресурс ретінде қарастырылады. Алайда, көмектің тиімділігі даулы болып қала береді, өйткені сыншылар бұл тәуелділікке, сыбайлас жемқорлыққа және қаражатты тиімсіз пайдалануға ықпал етуі мүмкін деп санайды. Қазақстан, Қырғызстан, Өзбекстан, Тәжікстан және Түрікменстан сияқты елдерді қамтитын Орталық Азия Кеңес Одағы ыдырағаннан кейін тәуелсіздік алған сәттен бастап айтарлықтай шетелдік қаржылық көмек алды. Кейбір ғалымдар шетелдік көмек Орталық Азия елдерінің экономикасының өсуіне оң әсер етті деп болжаса, басқалары оның шамалы немесе тіпті теріс әсер еткенін айтады. Бұл зерттеу көмектің мөлшерін ғана емес, оның тиімділігін бағалаудың маңыздылығына баса назар аударады, бұл тұрақты экономикалық дамуға көмектесудің сәттілігін анықтаудағы институционалдық сапаның рөліне ерекше назар аударады.

Түйін сөздер: шетелдік көмек, экономикалық өсу, Орталық Азия, тәуелділік, жемқорлық.

Introduction. The importance of understanding the relationship between foreign investment and economic growth lies in shaping appropriate development policies. Financial assistance is considered a pivotal resource that adds to investment in the domestic country aimed at long-term growth. It targets priority areas such as infrastructure, healthcare, and education, which are essential for achieving sustainable economic growth. At the same time, foreign aid can ensure stability and act as a catalyst for implementing economic reforms during difficult times. Despite this, the issue of the effectiveness of foreign aid in promoting economic growth is widely debated; some authors who are against foreign aid propose the statement that it can create dependence and stimulate corruption. At the same time, it is possible that aid will not be used for the intended purpose and will not directly support economic policy due to the weak

institutional quality. This study examines foreign aid and economic growth in Central Asia.

The Central Asian area is primarily comprised of five nations: Kazakhstan, Kyrgyzstan, Uzbekistan, Tajikistan, and Turkmenistan. These nations, which were republics of the Soviet Union, underwent significant changes following the USSR's dissolution in 1991. Throughout this period, they transitioned from a centrally planned economy to a market-based economy. Although the transition process provided new opportunities for growth and development, it caused these states to face numerous obstacles and challenges.

Eventually, after gaining independence, the Central Asian states started to receive a substantial amount of foreign aid. Most foreign assistance came from donors, international organizations such as the World Bank, International Monetary Fund, European Union, and developed nations, including

the United States, Japan, Germany, and other countries contributing financially. The funds were intended to reduce the poverty rate and achieve sustained growth.

Assessing the impact of international financial support on Central Asia is important, yet this topic remains under debate. Some scholars believe that foreign aid has a positive effect on growth, while other authors claim that it does not have any effect or even negatively impacts the economy. Proponents of aid state that it is essential for growth. However, opponents of aid argue that it promotes reliance on foreign funds and contributes to poor governance system or corruption when funds are wasted. It is essential to analyze the impact of foreign monetary assistance on economic expansion. Hence, it is important to analyze not solely the amount of money received but also the efficiency of aid and growth. Moreover, institutional quality is important because according to the conventional wisdom higher institutional quality is associated with the higher effectiveness of aid.

Definition of Aid. It's worthwhile to mention that aid encompasses different kinds of resources,

such as tangible goods, concessional loans, and nonrepayable financial grants. The Development Assistance Committee (DAC) of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) represents the largest provider of aid, consisting of 32 countries. The DAC defines aid as official development assistance (ODA), which is primarily governmental aid designed for developing countries' well-being and economic growth. This organization has established specific criteria for identifying the aid as ODA. First, it should come from the donor country's government agencies. The second criterion is that it should achieve economic growth and contain a 25% grant element or more. Every three years, DAC updates its list of ODA receipts based on the country's per capita income. The DAC countries expect recipient republics allocate development aid properly to mitigate some of the economic challenges. Military aid and increased donor security do not qualify as ODA. In some cases, aid for developing countries can be in the form of humanitarian assistance, which includes food and technical support such as projects or programs (OECD). For this thesis, foreign aid specifically refers to the ODA.

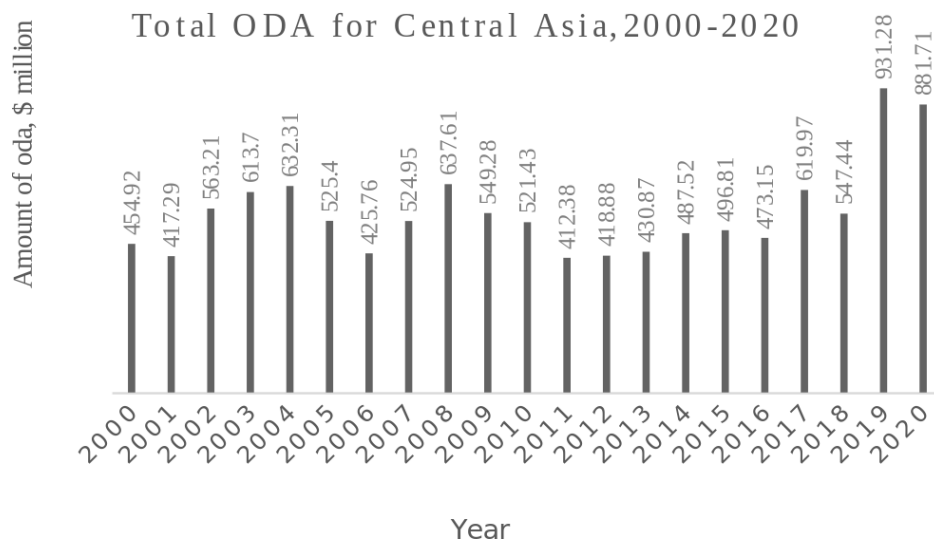


Figure 1 - Total ODA for Central Asia, 2000-2020 [1]

Overview of Aid in Central Asia. As previously mentioned, Central Asian countries began to receive foreign aid after the collapse of the USSR. However,

the countries did not receive the same level of aid, and its distribution varied among them both in terms of the amount received and the type

of aid. For some developed countries, providing foreign aid was a means of strengthening their involvement in the region. Foreign aid from donor countries to Central Asia mainly had a positive impact on the humanitarian, economic, and social sectors of the economy. The DAC members directed most of the foreign aid to the region. Notable China is not listed among these DAC members, although it has been and continues to be one of the main creditors for some Central Asian countries. Foreign aid, commonly referred to as ODA (Official Development Assistance), primarily involves the repayment of loans on concessional terms, such

as the net repayment of the principal and grant element, which includes at least 25%, estimated at a 10% discount rate (OECD, 2024). From 2000 to 2020, Central Asia received a total of \$11.57 billion in ODA from various bilateral donors. Figure 1 below shows the distribution of ODA throughout the region for the period 2000–2020.

From figure 1, in 2011, Central Asia received the least amount of the ODA, totalling \$412.38 million, and in 2019, the region received the highest amount, \$931.28 million. Figure 2 displays the amount of ODA receipts from 2000 to 2020.

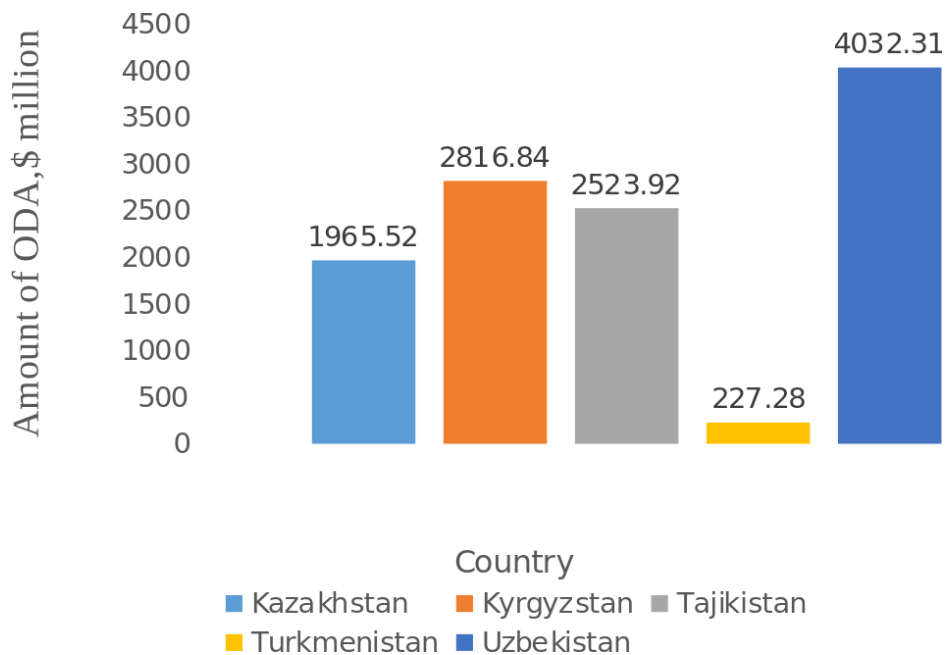


Figure 2 - Net ODA classification by country [1]

Uzbekistan leads in ODA receipts between 2000 and 2020, totaling \$4.3 billion. Following closely, Kyrgyzstan secures the second-highest amount with \$2.82 billion. Notably, Kyrgyzstan was the first among Central Asian countries to implement IMF policies. Tajikistan follows in third place, having received \$2.52 billion. Uzbekistan takes the fourth spot, with a net official ODA receipt of \$1.97 billion. Finally, Turkmenistan concludes the list among Central Asian recipients, having received \$227.8 million during the specified period.

Country Specific Trends. Even though Central Asian countries received different amounts of ODA from bilateral and multilateral organizations throughout the period of 2000–2020, most of these states had the same major donor. Next, the following subsection will describe the ODA distribution for every Central Asian entity. It will mention the prominent donors, the total amount of aid received, and the impact of such aid on socioeconomic development.

Aid in Kazakhstan.

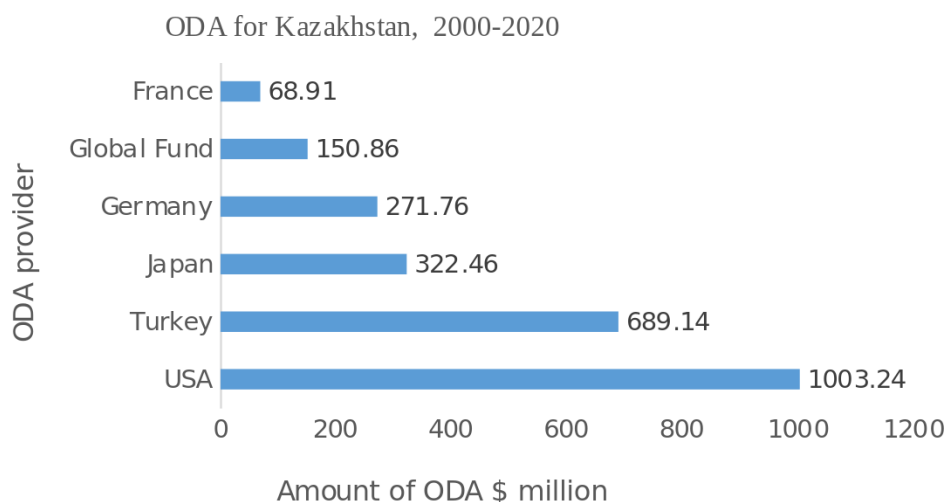


Figure 3 - Main ODA providers for Kazakhstan, 2000-2020 [1]

The USA is the largest ODA provider for Kazakhstan, offering \$1 billion from 2000–2020. Like other donor countries, the USA targets specific areas within Kazakhstan for its funds, including the social sector, judiciary, and civil society. Additionally, it supports trade opportunities and aids in the development of low-cost energy. Among Central Asian countries, Kazakhstan allocates a sufficient budget to its energy sector, with the US Agency for International Development (USAID) actively supporting and promoting green energy policies [2].

From 2000 to 2020, Kazakhstan received the highest amount of Official Development Assistance (ODA) from Turkey. The Turkish Cooperation and Coordination Agency's (TIKA) is an important aid provider focusing on agricultural and livestock areas. In addition, TIKA supports the improvement of social life standards through employment and vocational training programs. Also, the agency supports the conservation of the same historical and cultural identities [3]. This organization in Kazakhstan also aims to improve the road infrastructure.

In 1997, Japan started to come up with Eurasian diplomacy, establishing a political corporation with Kazakhstan and subsequently providing investment in the energy sector. One of the highlighted projects between Kazakhstan and Japan was the Silk Road Energy Mission. The "Central Asia plus Japan" dialogue guided the project's operation. The

aim of this project, accepted in 2006, was to enhance and promote atomic energy safety and nuclear security. In essence, these two countries share mutual benefits, particularly in the field of nuclear energy. While Japan possesses advanced technology, it lacks some of its natural resources, leading it to seek a high supply of uranium for its growing nuclear energy sector. Kazakhstan, with the second-largest uranium reserves, provides Japan with this resource. Cooperation agreements between these countries primarily include investments in the nuclear power industries, uranium mines, and technology exchange [4].

Germany is the third country to strongly support Kazakhstan. During the specified period, this country provided Kazakhstan with \$271.76 million. The GIZ organization directed the aid. Germany wants to allocate its Official Development Assistance (ODA) to Kazakhstan for education and sustainable economic development. This country, like the United States, also allocates its ODA for training and employment purposes. Additionally, Germany is concerned regarding environmental challenges, public safety, and disaster prevention [5].

Aid in the Kyrgyz Republic. Among Central Asian countries, Kyrgyzstan was the first to adapt the IMF policies, which contributed to receiving significant ODA since its independence. Countries like Japan, Turkey, Germany, Switzerland, and international organizations like the Asian

Development Bank (Japan), the International Development Assassination (IDA), and the United Nations (UN) are the main aid providers for the

Kyrgyz Republic. Figure 4 shows the main ODA providers in Kyrgyzstan from 2000–2020.

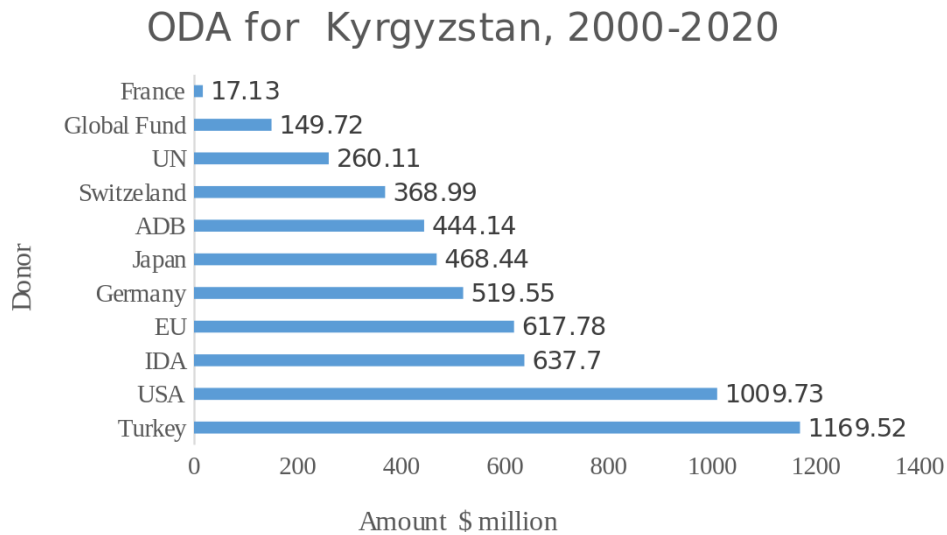


Figure 4- Main providers of ODA for Kyrgyzstan, 2000-2020 [1]

Although Russia is not included in the chart as the country was not listed in the OECD database, it's noteworthy that the Russia began providing financial assistance to Kyrgyzstan once they became part of the Eurasian Economic Union (EEU). In 2015, Russia and the Kyrgyzstan established a development fund containing \$1 billion. The main aim of the Russia-Kyrgyz fund was to enhance the economic corporation between these countries and modernize the Kyrgyz economy. According to the Development aid report (2018) out of the \$1 billion, \$5000 million were allocated from the Russian Federal Bank to the National Bank of Kyrgyzstan. It should be mentioned that these ODA from the Russian fund was not given for free; Kyrgyzstan will need to repay the loan later. Top of Form.

Between 2000-2020, Turkey provided the Kyrgyzstan a total \$1169.52 million. The Turkish Cooperation and Coordination Agency (TIKA) contributed significant amount of foreign aid to Kyrgyzstan, funding over 760 distinct projects. TIKA wants its money in Kyrgyzstan to be allocated for the education, infrastructure, and some portion for the humanitarian purposes [6].

USAID is considered one of the largest ODA

providers for Kyrgyzstan. During the mentioned period, the United States allocated \$1009.73 million to Kyrgyzstan. USAID primarily focuses on improving the governance of the country. Additionally, the USA aims to develop and promote the business environment and agriculture. Besides these priorities, the USA also endeavours to positively contribute to various sectors of the country, including education, healthcare, and human rights [7].

USAID is considered one of the largest ODA providers for Kyrgyzstan. During the mentioned period, the United States allocated to the Kyrgyzstan \$1.01 billion. USAID primarily focuses on improving the governance of the country. Additionally, it promotes the business environment and agriculture. In addition, the USA endeavors to make positive contributions to various sectors, including human rights, education, and healthcare [7].

The Asian Development Bank (ADB) is a major multilateral organization providing funds for Kyrgyzstan development. Between 2000 and 2020, it allocated a total of \$444.14 million. Mainly ADB's support primarily focuses on road's rehabilitation

projects like Bishkek-Osh and the Bishkek - Torugart routes, which connects the country's north and south and link it with China [6]. Beside the road improvement in Kyrgyzstan, ADB invests in various sectors such as education, governmental structures, and the civil society. It also plays a significant role in promoting water supply initiatives to facilitate hydropower expansion. Notably, ADB undertook the rehabilitation of Kyrgyzstan largest and most important power station of this country as part of its project [7].

Alongside with other international ODA

providers, IDA stands out as a major donor for Kyrgyzstan. From the period of 2000-2020 this organization provided \$637.7 million in comprising both loans and grants. IDA allocates its ODA towards the energy, agriculture, and transportation initiatives [7].

Aid in Tajikistan. Like other Central Asian countries, Tajikistan has also started to receive a significant amount of ODA since its independence. Figure 5 illustrates the primary ODA allocation for this country.

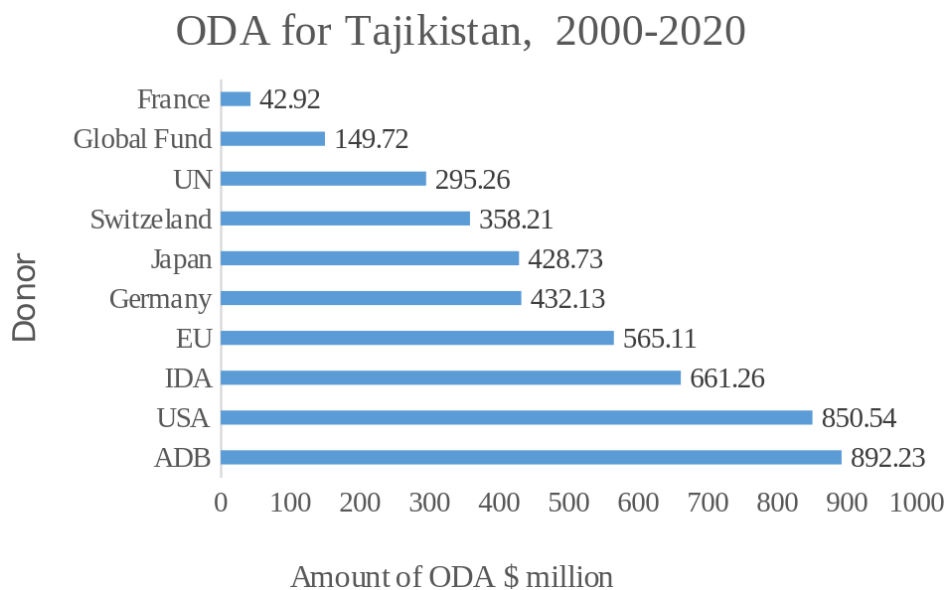


Figure 5 - Main ODA providers Tajikistan 2000-2020 [1]

From Figure 5, it's evident that ADB was Tajikistan's primary ODA provider between 2000 and 2020, contributing a total of \$892.23 million. It began its collaboration with Tajikistan in 1998. Initially, this country used ADB's funds for road construction. From 2005 to 2013, this organization facilitated the implementation of Dushanbe-Kyrgyz Board Rehabilitation Project Phase 2. The ADB allocated \$51.7 million for this project to improve and resurface the roads and enhance the drainage systems, bridges, and walls [8]. This organization had a significant and positive impact on the country's regional corporations and trade. Moreover, the ADB projects led to the rehabilitation of three hydropower plants in

Tajikistan. In 2008, it allocated \$54.8 million for the "Nurek 500 Kilovolt Switchyard Reconstruction Project [9]. Additionally, the ADB directed its funds to enhance the country's business environment, social protection, tax policy, and finance system, while also promoting employment through private partnerships, vocational training, and food security promotion [10].

From 2000 to 2020, USAID was Tajikistan's second-highest ODA provider. Primarily, USAID focuses on enhancing food security, nutrition, and education while also aiming to improve institutional quality. USAID strives to improve institutional quality by enhancing government accountability, credibility, and oversight of basic

services. Moreover, it provides training and access to information for migrant workers and civil society members. Additionally, this organization places high value on human rights and tries to inform Tajikistan’s citizens about their rights [11].

Tajikistan joined the International Development Association organization in 1994, a year before joining the World Bank. The IDA directed its funds towards mitigating climate risk and addressing natural disasters. Additionally, this organization assists Tajikistan with electricity exports and economic diversification [12].

The European Union (EU) also aids Tajikistan. Primarily, the EU focuses on three targets: rural development, education, and health. In Tajikistan,

the EU's primary goal is to reduce poverty in remote and rural areas by fostering inclusive economic activities in agriculture and other sectors, thereby creating wealth and job opportunities. Furthermore, like other international organizations, the EU values sustainability and encourages the efficient use of natural resources, as well as the enhancement of resilience to severe weather conditions. Thanks to EU aid, Tajikistan greatly benefits, particularly from projects promoting education, regional trade, and enhancing the private sector and regional trade [13].

Aid in Turkmenistan. Among the central Asian countries, Turkmenistan received the least amount of ODA. Figure 6 shows the primary ODA providers in this country for the period 2000–2020.

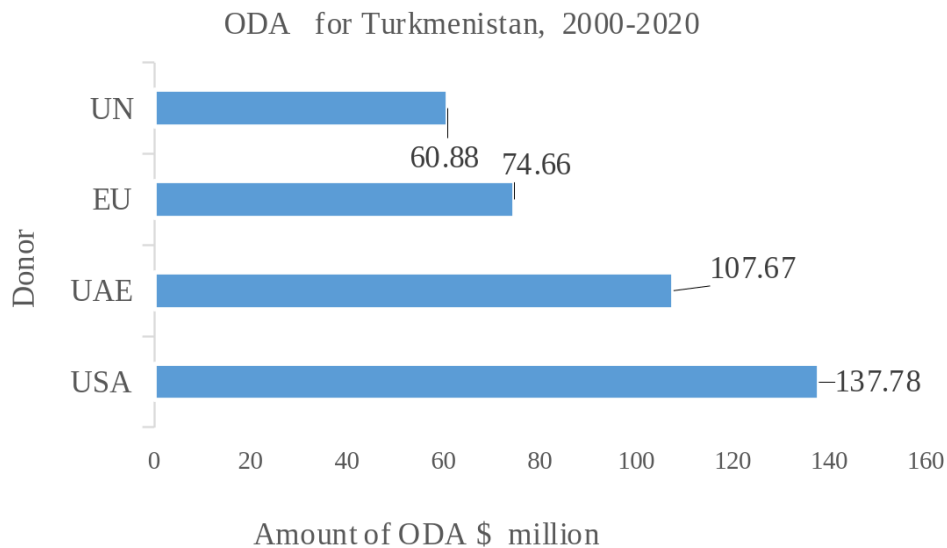


Figure 6 - Main ODA providers for Turkmenistan, 2000-2020 [1]

USAID is one of the largest ODA providers for Turkmenistan, with a total of \$137.78 million. Like other Central Asian states, this organization focuses on developing the health sector and youth initiatives in Turkmenistan. Moreover, USAID assists local entrepreneurs by creating different job opportunities and enhancing their competitiveness to increase revenue. To foster citizens’ trust in governmental organizations, USAID promotes and encourages the use of e-governance technologies, which positively impact information awareness and service delivery [14].

Another large donor for Turkmenistan is the United Arab Emirates (UAE), which granted \$107.67 million. This country is one of Turkmenistan’s largest business partners, focusing on development corporations. Infrastructure and road construction are areas of particular interest for both states, including UAE and Turkmenistan. Additionally, they prioritize areas such as science, education, culture, and heritage as crucial components for developing and strengthening their relationship.

In total, the European Union provided \$74.66

million to Turkmenistan from 2000 to 2020. This organization prioritizes its funds for expenditure on public administrations and finances. Additionally, the EU supports the country's private sector and agriculture, especially in rural and remote areas. Moreover, this organization focuses on improving the education system, addressing water and environmental problems, and enhancing law enforcement. Finally, the EU endeavours to mitigate political issues such as border management and

assists in the training of border guards [15].

The United Nations Development Program (UNDP) operates prominently in Turkmenistan, concentrating on achieving economic prosperity. Primarily, this organization collaborates with partners to address social issues such as human development, environmental sustainability, and energy [16].

Aid in Uzbekistan.

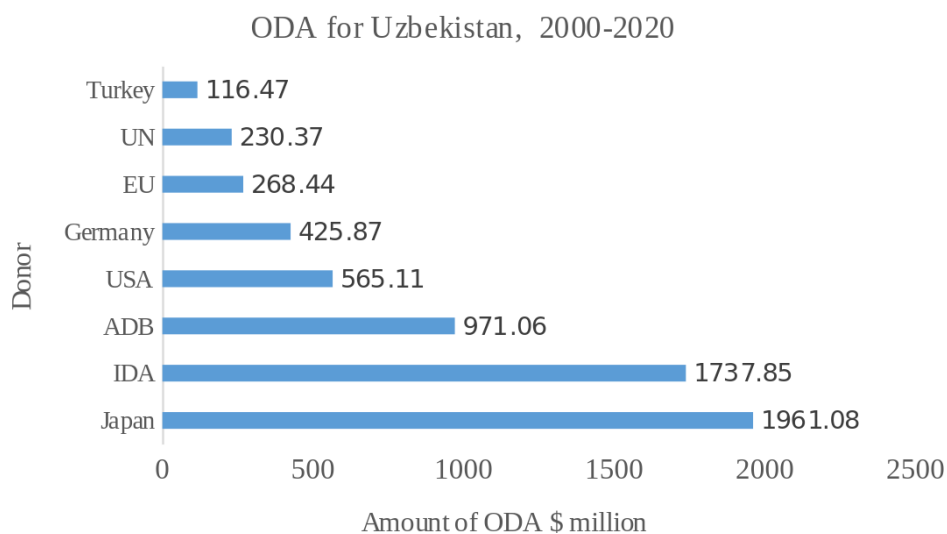


Figure 7- Main ODA providers for Uzbekistan, 2000-2020 [1]

Japan emerges as the largest aid provider for Uzbekistan for the period of 2000-2020. Japan International Cooperation Agency (JICA) executes a variety kind of initiatives including grants, concessional loans, and the technical assistance. This organization allocates ODA towards railroad projects, power generation, healthcare, agriculture, and other sectors. A notable JICA program in Uzbekistan is the "Country Assistance Policy to Uzbekistan" established in 2012. It aims to stimulate economic growth by addressing inequality and improving the economic infrastructure [17]. Top of Form

In total Uzbekistan received \$1.74 billion from IDA, an agency under the World Bank. The main aim of the provided ODA from the World Bank was intended reducing poverty, achieving sustainable economic development, improving the energy sector, and advancing market reforms.

Overall, 28 projects of the World Bank are being implemented in Uzbekistan aiming to rehabilitate irrigation and drainage system, improve the utility infrastructure while fostering the economic growth of the country [18].

For the period of the 2000-2020 ADB provided to the Uzbekistan total amount of the ODA \$7.6 million. Some part of this fund was directed towards the development particularly for the electricity generation projects. Under the Central Asian Regional Economic Cooperation (CAREC) project, ADB in Uzbekistan supports road and railroad projects. Additionally, ADB aided in providing access to clean water supply for over 3 million people. Through the "Water Supply and Sanitation Services Investment Program," more than 4,800 new households gained access to clean water, and over 170,000 people were provided with improved sewage services. ADB also assisted the agricultural

sector, benefiting over 3.2 million individuals with water provision for agriculture and promoting crop variety expansion and private sector engagement in horticultural supply chains. Top of Form

Central Asian countries have benefited from the donor activities from both DAC countries and international organizations. Major donors for this region include Turkey, Japan, USA, and Germany while multilateral organization such as ADB, USAID, IDA, and the EU also play a significant role. The aim of DAC countries' assistance is mainly directed towards the improvement of democracy and governance institutions. In Uzbekistan and Kazakhstan, the focus of most aid is on improving the energy sector while in Tajikistan and Turkmenistan a major portion of ODA is directed towards transportation and the storage sector.

The Role of Specific ODA Providers to Central Asia. Russia and China are considered major actors of the “Eurasian” and “Shanghai spirits” for the economic development in Central Asia. These countries are not part of the OECD, still these countries provide a significant amount of ODA to the region.

Chinese Aid to Central Asia. Even though China is not a part of the DAC ODA providers, still it provides enough money to the Central Asia through the programs like Belt and Road Initiative; It is worth mentioning that China has a different definition and categorization of the aid, which is broader than the one outlined by OECD. For example, for China FDI, commercial loans are also considered as parts of the foreign aid. Chinese aid is complex, and its statistics is released through the governmental agencies. This country government set certain rules based on which it provides it financial assistance to the rest of the world. The following are eight principles based on which this Chinese aid should be operated [19].

1. The aid provided by the Chinese government is based on the mutual benefits it has to the donor and the recipient. It is presented as a mutual exchange rather one-side charity.

2. The Chinese government does not place any

conditions to the recipient country as they respect other country rules of law.

3. The aid is low-interest or free-interest loans that have the flexible repayment period.

4. The Chinese aid does not create the dependency but rather enables the recipient countries to achieve economic gains.

5. The Chinese assistance supports projects that require little spending but generate faster profits. This is because the success of such projects creates revenue for the recipient country and acquires capital.

6. The aid includes Chinese domestic machinery and if they fail to meet the agreed standard, China can replace them for free.

7. The Chinese government also enforces a high level of technical assistance to the recipient country and provides the recipient with its experts.

8. The Chinese experts sent for assistance to the recipient countries are expected to work under the same standards as local specialists.

One of the papers devoted to the analysis of Chinese aid and its role in Central Asia was written by Kashin and Korolev [20]. The authors of this article underline the change in the vector of Chinese aid: from being based on ideological driven agendas during the Cold war to more economically focused objectives that mainly directed to the interests of China as a whole.

Kashin and Korolev [20] also note that the in the past China provided financial assistance to strengthen the position of Beijing role in the world and overcome the international isolation. In addition, aid from China has become one of the main tools to establish contacts with the other countries.

Kashin and Korolev provide the critical assessment of the Chinese aid. According to the authors despite the positive effect of Chinese aid to the region, there might be some strategic motivation behind it. They mention that even though Chinese aid in Central Asia promotes stability and development, to some extent it is increasing its power to influence the region. The authors state that

the aid from China to Central Asia is mostly aimed at infrastructure projects. One such example is the “Silk Road Economic Belt”. They argue that such projects not only support the economic development of the region but also provides opportunity to China to utilize its industrial capacity.

Authors mention that despite Chinese aid having its positive effects, still some people believe that it raises concerns regarding becoming dependent on it. For several years the inflow of Chinese capital to Central Asia was directed toward infrastructure development which further boosted the local economies and positively impacted the trade relationships [20].

The frame of China aid to Central Asia is based on the principles of the mutual benefits of both parties. Mostly, a large amount of Chinese aid in Central Asia is used for the economic infrastructure mainly the construction of roads and extractive industries. Up to 2016, China has granted Central Asia nearly \$30 billion dollars of concessional loans, most of this amount was allocated to Kazakhstan and Turkmenistan [20].

Another paper about Chinese aid to the Central Asia was published by the Nargiz Kassenova [21]. The study emphasizes the significance and role of China’s foreign aid to the region. According to her study China’s development assistance for the region also involves providing buses, tractors, military supplies, and other kind of the equipment. Additionally, China provides governmental scholarships to Central Asian students and training programs for civil workers and military personnel.

Moreover, with both studies by Kassenova and Kashin and Korolev, China’s strategic use of its aid in Central Asia is questioned due to the diverse objectives behind China’s assistance. While Kashin and Korolev argue that there has been a change to more economic variants from ideologically driven agendas, they cannot deny the strategic motivation on China’s part. While the second article claims that the country’s aid is used to build strong social ties to

the Central Asia. Both studies explain mention about the goals of China’s foreign aid within this region, showcasing its economic aims in a broader sense.

Russian Aid to Central Asia. Economically Russia has a dominant influence in the energy sector, particularly in countries like Kazakhstan and Uzbekistan. Additionally, Russia is interested in some sectors like agriculture, construction, telecommunication, and mining. Traditionally Russian aid to CA mainly focuses on region’s low-income countries including Tajikistan and Kyrgyzstan. In 2010, Russian bilateral aid to Kyrgyzstan amounted \$25million. Russia provides its aid through the frameworks such as the CIS and the Economic Community. According to the author in recent years Russia forgave a significant amount of aid for Kyrgyzstan and Tajikistan for securing the military cooperation which in total amounted the \$489 million [22].

Conclusion. Understanding the complex relationship between foreign aid and economic growth is crucial for shaping effective development policies, particularly in regions like Central Asia. While foreign aid has the potential to drive long-term economic development by addressing critical areas such as infrastructure, healthcare, and education, its effectiveness remains a subject of debate. In Central Asia, foreign assistance has played a significant role in the post-Soviet transition period, with funds aimed at reducing poverty and promoting sustained growth. However, concerns about aid dependency, corruption, and inefficient use of funds persist. The impact of foreign aid ultimately hinges on factors such as institutional quality, which plays a pivotal role in determining the success of financial support in fostering economic growth. Thus, a thorough evaluation of both the quantity and the effectiveness of aid is essential to understanding its true impact on the economic development of the region.

Financing. This work was financially supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant AP1968020, 2023–2025).

References

-
1. OECD ODA trends and statistics. -2024. URL: <https://www.oecd.org/en/topics/sub-issues/oda-trends-and-statistics.html> (date of application - 12.09.2024)
 2. Galante, A. How the U.S. benefits from foreign aid to Kazakhstan. The Borgen Project. -2018. URL: <https://borgenproject.org/us-benefits-foreign-aid-kazakhstan/> (date of application - 12.09.2024)
 3. Fidan, H., & Nurdun, R. Turkey's role in the global development assistance community: the case of TIKA (Turkish International Cooperation and Development Agency) // Journal of Southern Europe and the Balkans. -2008. –Vol. 10(1). –P. 93–111. <https://doi.org/10.1080/14613190801895888> (date of application 12.09.2024)
 4. Kassenova, T& Toki, M. Japan and Kazakhstan: nuclear energy cooperation. The Nuclear Threat Initiative. -2010. URL: <https://www.nti.org/analysis/articles/japan-kazakhstan-energy-cooperation/> (date of application - 12.09.2022)
 5. German Federal Foreign Office, Germany and Kazakhstan: Bilateral relations. -2024. URL: <https://www.auswaertiges-amt.de/en/aussenpolitik/laenderinformationen/kasachstan-node/kazakhstan/218898> (date of application - 12.09.2024)
 6. Gunaydin, H. C. Turkey funded over 760 aid projects in Kyrgyzstan. Turkey (2018).
 7. Development Aid. Donor activity in the Kyrgyz Republic: Special Report 2018. <https://events.developmentaid.org/attachment/ce1d8bd8-d82a-445a-a907-60db0b82f951/Kyrgyzstan%20Report%202018%20-%20Donor%20Assistance%20to%20the%20Kyrgyz%20Republic.pdf> Date of application - 12.09.2024
 8. ADB Report Upgraded Tajikistan Road Improves Access to Markets. -2014. URL: <https://www.adb.org/results/upgraded-tajikistan-road-improves-access-markets> (date of application - 12.09.2024)
 9. ADB Report Tajikistan Hydropower: Strengthening the Power Supply. -2014. <https://www.adb.org/results/tajikistan-hydropower-strengthening-power-supply> (date of application - 12.09.2024)
 10. ADB Report Tajikistan Farmers Get Affordable Financing to Boost Food Supply. -2014. URL: <https://www.adb.org/results/tajikistan-farmers-get-affordable-financing-boost-food-supply> (date of application - 12.09.2024)
 11. USAID (n.d). Agriculture and Food Security in Tajikistan. URL: <https://www.usaid.gov/tajikistan/agriculture-and-food-security> (date of application - 12.09.2024)
 12. World Bank (n.d). Tajikistan - Energy Emergency Recovery Assistance Project (English). Washington, D.C: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/495351468133515937/Tajikistan-Energy-Emergency-Recovery-Assistance-Project> (date of application - 12.09.2024)
 13. European Commission (n.d). Tajikistan. URL: https://international-partnerships.ec.europa.eu/countries/tajikistan_en (date of application - 12.09.2024)
 14. USAID (n.d). USAID Turkmenistan. URL: <https://www.usaid.gov/turkmenistan#:~:text=In%20Turkmenistan%2C%20USAID%20advances%20the,and%20respect%20for%20human%20rights%3B> (date of application - 12.09.2024)
 15. European Union European Union and Turkmenistan. -2021. <https://www.eeas.europa.eu/turkmenistan/>
-

europa-union-and-turkmenistan_en?s=231 (date of application - 12.09.2024)

16. UNDP UNDP Turkmenistan. -2024. –URL: <https://www.undp.org/turkmenistan> (date of application - 12.09.2024)

17. JICA (n.d). Official Aid from Japan to Uzbekistan. URL:

<https://www.uz.emb-japan.go.jp/files/000224521.pdf> (date of application - 12.09.2024)

18. Ibragimov M. The World Bank. The Government of Uzbekistan and the World Bank Affirm Their On-going Strategic Partnership. -2023. URL:

<https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/03/11/the-government-of-uzbekistan-and-the-world-bank-affirm-their-on-going-strategic-partnership> (date of application - 12.09.2024)

19. Information Office of the State Council. The People’s Republic of China China’s Foreign Aid. -2011. URL: http://en.cidca.gov.cn/2018-08/09/c_261159.htm (date of application - 12.09.2024)

20. Kashin V, Korolev A. Assistance of the PRC to the Central Asia countries. -2018. URL:

<https://publications.hse.ru/pubs/share/direct/218848124.pdf> (date of application - 12.09.2024)

21. Kassenova N. How China’s Foreign Aid Fosters Social Bonds With Central Asian Ruling Elites. -2022. URL: https://sites.tufts.edu/fletcherrussia/files/2023/01/Kassenova_Chinese_Aid_Final.pdf

(date of application - 12.09.2024)

22. Oliphant C. Russia’s role and interest in Central Asia. -2013. URL:

<https://www.files.ethz.ch/isn/172941/russias-role-and-interests-in-central-asia.pdf>.

Information about authors

Serikkyzy A. - PhD, associate professor ALMAU, Almaty, Kazakhstan, e-mail: a.serikkyzy@almau.edu.kz;

Baktymbet S. S.-candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Academy of Political Management, Astana, Kazakhstan, e-mail: saule_sbs@mail.ru;

Yermirzoev M. - candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the University of Central Asia, Khorog, Republic of Tajikistan, e-mail: mirzobobo.yormirzoev@ucentralasia.org;

Akhmetova A.B. – bachelor, ALMAU, Almaty, Kazakhstan, e-mail: arsiapev@gmail.com

Сведения об авторах

Серікқызы А. - PhD, ассоциированный профессор ALMAU, Алматы, Казахстан, e-mail:

a.serikkyzy@almau.edu.kz;

Бақтымбет С.С. – кандидат экономических наук, доцент, Академия политического менеджмента, Астана, Казахстан, e-mail: saule_sbs@mail.ru;

Ермирзоев М.- кандидат экономических наук, доцент Университета Центральной Азии, Хорог, Республика Таджикистан, e-mail: mirzobobo.yormirzoev@ucentralasia.org;

Ахметова А.Б. – бакалавр, ALMAU, Алматы, Казахстан, arsiapev@gmail.com

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА И АНАЛИЗА ЗАТРАТ НА ОХРАНУ ТРУДА В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ И СТРАТЕГИИ УЛУЧШЕНИЯ

¹А. М. Курманов, ²И. Е. Сарыбаева✉, ³А. Н. Омаркожаева, ¹А.Б. Бекмагамбетов

¹ Республиканский научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, Казахстан,

² Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

³ Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан

✉ Корреспондент-автор: inarasaribaeva@gmail.com

В статье рассматриваются проблемы и перспективы совершенствования системы социальных гарантий для работников, занятых на вредных и опасных производствах в Республике Казахстан. На основе анализа текущего законодательства и практики предоставления компенсаций выявлены существенные недостатки, связанные с отсутствием единого подхода к аттестации рабочих мест и недостаточной объективностью оценки условий труда. Особое внимание уделяется необходимости разработки унифицированных стандартов и критериев оценки, усилению контроля за проведением аттестации, а также внедрению дифференцированного подхода к предоставлению социальных гарантий. В статье предложены рекомендации по совершенствованию системы, которые включают разработку новых законодательных актов, повышение квалификации специалистов по охране труда и создание механизмов обратной связи для работников. Эти меры направлены на обеспечение более справедливых и равных условий труда, что в конечном итоге способствует улучшению производственной среды и снижению уровня профессиональных заболеваний.

Ключевые слова: социальные гарантии, вредные и опасные условия труда, компенсации, охрана труда, аттестация рабочих мест, условия труда

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЕҢБЕКТІ ҚОРҒАУҒА АРНАЛҒАН ШЫҒЫНДАРДЫ ЕСЕПКЕ АЛУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ ЖҮЙЕСІН ЖЕТІЛДІРУ: ПРОБЛЕМАЛАР, ПЕРСПЕКТИВАЛАР ЖӘНЕ ЖАҚСARTУ СТРАТЕГИЯЛАРЫ

¹А. М. Курманов, ²И. Е. Сарыбаева✉, ³А. Н. Омарқожаева, ¹А.Б. Бекмағамбетов

¹ Қазақстан Республикасы Еңбек және халықты әлеуметтік қорғау министрлігінің Еңбекті қорғау жөніндегі республикалық ғылыми-зерттеу институты, Астана, Қазақстан,

² Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан,

³ Қазақ технология және бизнес университеті.Қ. Құлажанова, Астана, Қазақстан,

e-mail: inarasaribaeva@gmail.com

Мақалада Қазақстан Республикасындағы зиянды және қауіпті өндірістерде жұмыс істейтін қызметкерлер үшін әлеуметтік кепілдіктер жүйесін жетілдіру мәселелері мен перспективалары қарастырылады. Ағымдағы заңнаманы және өтемақы беру практикасын талдау негізінде жұмыс орындарын аттестаттауға бірыңғай тәсілдің болмауына және еңбек жағдайларын бағалаудың объективтілігінің жеткіліксіздігіне байланысты елеулі кемшіліктер анықталды. Бірыңғай стандарттар мен бағалау критерийлерін әзірлеу, аттестаттауды өткізуді бақылауды күшейту, сондай-ақ әлеуметтік кепілдіктер

беруге сараланған тәсілді енгізу қажеттілігіне ерекше назар аударылады. Мақалада жаңа заңнамалық актілерді әзірлеуді, еңбекті қорғау жөніндегі мамандардың біліктілігін арттыруды және қызметкерлер үшін кері байланыс тетіктерін құруды қамтитын жүйені жетілдіру бойынша ұсыныстар ұсынылған. Бұл шаралар неғұрлым әділ және тең еңбек жағдайларын қамтамасыз етуге бағытталған, бұл сайып келгенде өндірістік ортаны жақсартуға және кәсіптік аурулардың деңгейін төмендетуге ықпал етеді.

Негізгі сөздер: әлеуметтік кепілдіктер, зиянды және қауіпті еңбек жағдайлары, өтемақылар, еңбекті қорғау, жұмыс орындарын аттестаттау, еңбек жағдайлары

IMPROVING THE SYSTEM OF ACCOUNTING AND ANALYSIS OF LABOR PROTECTION COSTS IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN: PROBLEMS, PROSPECTS AND IMPROVEMENT STRATEGIES

¹A.M.Kurmanov, ²I.E. Sarybayeva✉, ³A.N. Omarkozhayeva, ¹A.B.Bekmagambetov

¹ Republican Research Institute for labor protection of the Ministry of Labor and social protection of the population of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan,

² L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

³ K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,
e-mail: inarasaribaeva@gmail.com

The article discusses the problems and prospects of improving the system of social guarantees for workers employed in hazardous and hazardous industries in the Republic of Kazakhstan. Based on the analysis of current legislation and the practice of providing compensation, significant shortcomings have been identified related to the lack of a unified approach to workplace certification and insufficient objectivity in assessing working conditions. Special attention is paid to the need to develop unified standards and evaluation criteria, strengthen control over certification, as well as introduce a differentiated approach to the provision of social guarantees. The article offers recommendations for improving the system, which include the development of new legislative acts, professional development of occupational safety specialists and the creation of feedback mechanisms for employees. These measures are aimed at ensuring fairer and more equal working conditions, which ultimately contributes to improving the working environment and reducing occupational diseases.

Keywords: social guarantees, harmful and dangerous working conditions, compensation, labor protection, certification of workplaces, working conditions

Введение. Вопросы исследования социальных гарантий для работников, занятых на вредных производствах труда, являются крайне важными и многоаспектными, что обусловлено в первую очередь обеспечением благосостояния и защиты здоровья работников. На фоне развития промышленности и внедрения новых производственных технологий, характер и степень воздействия на здоровье работников также изменяются, что требует пересмотра и обновления социальных гарантий. Кроме того, важным аспектом является

обеспечение справедливости и равенства в распределении таких гарантий среди всех категорий работников, занятых на вредных производствах. Это связано с необходимостью учета индивидуальных факторов риска и особенностей различных отраслей.

В соответствии со статьей 181 Трудового кодекса РК [1] работник имеет право на рабочее место, оборудованное в соответствии с требованиями по безопасности и охране труда, обеспечение санитарно-бытовыми помещениями, сред-

ствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями законодательства, а также трудовым, коллективным договорами. А по статье 182 работодателю вменяется в обязанность проведение постоянного мониторинга уровня профессиональных рисков с целью его профилактики, а также замены применяемых опасных технологий и производственного оборудования на более безопасные.

Несмотря на принятые новые законодательные акты [2,3] социальные гарантии в Казахстане по-прежнему не соответствуют ожиданиям и потребностям работников и не обеспечивают выполнение международных норм, не учитывают современное состояние производства и производственной среды, условия труда на рабочих местах.

Социальные гарантии играют важную роль в уменьшении неравенства, вызванного различиями в условиях труда, и поддерживают социальное равновесие. В условиях модернизации производственных процессов и изменений в трудовом законодательстве возникает необходимость пересмотра и адаптации социальных гарантий, чтобы они оставались эффективными и актуальными в новых социально-экономических реалиях.

Таким образом, исследование социальных гарантий для работников, занятых на вредных производствах труда, имеет ключевое значение для развития социальной политики и охраны труда, а его результаты могут стать основой для принятия более эффективных и справедливых решений в данной области.

Материалы и методы. Темой исследования занимались и занимаются до сих пор как отдельные ученые, так проектные организации, научно-исследовательские институты. Большое число публикаций посвящены вопросам охраны труда, но теме «совершенствование регулированию труда работников вредного и опасного производства» посвящены единичные труды. Более того, вся изученная литература является справочной, либо теоретические работы посвящены, как правило, решению каких-либо отдельных вопросов, так или иначе касающихся вопросов охраны и условий труда.

Анализ действующего механизма регулирования труда лиц, занятых в неблагоприятных условиях изучены как отечественными, так и зарубежными специалистами. Среди российских работ можно отметить статьи А.М. Елина, С.С. Сергеевой «Специальная оценка условий труда: практика и итоги» [4], Л.И. Хайруллина, В.С. Гасилова, Тучковой О.А. «Компенсации за работу во вредных условиях труда: основные аспекты вопроса» [5], С.М.Ильина, Н.А., Самарской и др. «Направления совершенствования системы предоставления гарантий и компенсаций работникам за работу в опасных (вредных) условиях труда» [6]. Подобные исследования проводятся также учеными странами СНГ в частности, статья Стратулата В. И. «Социальные компенсации за вредные условия труда в Молдове» [7], Алиевой Л. М. «Компенсационные механизмы для работников во вредных условиях труда в Азербайджане» [8], Умарова Н. А. «Правовые аспекты компенсации за вредные условия труда в Узбекистане» [9] и др. В Казахстане можно отметить, следующие исследования С.Г. Бисакаева, Ш.К. Абикеновой, Каминскаой Г. А. «Научное обоснование механизма государственного регулирования труда работников, занятых во вредных условиях труда» [10], Г.А. Еселхановой, А.Е. Танабаевой «Нормативно-правовое регулирование предоставления гарантий работникам, занятым во вредных и опасных условиях труда в Республике Казахстан» [11], С.М. Базарбаевой, С.Т. Шорманова, С.Т. Толеугали «Анализ действующего механизма регулирования труда лиц, занятых в неблагоприятных условиях» [12].

Можно отметить ряд работ ученых дальнего зарубежья Lee, H. S., Kim, J. H. «Occupational hazards and safety management in the South Korean manufacturing sector» (Южная Корея) [13], Leigh, J. P., Du, J. «Economic burden of occupational injuries and illnesses in the United States» [14] (США), Pissarides, C. A., Weber, A. «Compensation for workplace risks in the European Union: Evidence from the European Working Conditions Survey» [15] (Европа) и др.

Таким образом, в данном исследовании использовались различные источники и методы для

анализа действующего механизма регулирования труда лиц, занятых в неблагоприятных условиях. Характеристика исследовательского материала включает в себя как качественные, так и количественные аспекты, что является важным фактором для обеспечения достоверности выводов и методов исследования.

Исследование проводилось в несколько этапов: анализ существующих законодательных актов, сбор и анализ статистических данных по численности работников, занятых во вредных условиях труда, и сравнительный анализ компенсационных механизмов.

При написании статьи использовались следующие методы: документальный анализ правовых актов, статистический анализ данных по численности работников, занятых во вредных условиях

труда, и их компенсации, сравнительный анализ компенсаций по различным формам собственности предприятий.

Результаты и обсуждение. Социальная защита работников, занятых на тяжелых работах, а также на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, является одной из важнейших задач государственной политики в сфере трудовых отношений в Республике Казахстан. Нормативно-правовое регулирование в этой области направлено на создание условий, обеспечивающих здоровье и безопасность работников, а также на предоставление им дополнительных социальных гарантий и компенсаций.

Нормативно-правовой анализ исследования регуляторных норм, действующих в Республике Казахстан представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Нормативно-правовой анализ регуляторных норм в сфере охраны труда

Нормативный акт	Основное содержание
Трудовой кодекс РК	
ст. 69 п. 2	Устанавливается сокращенная продолжительность рабочего времени не более 36 часов для работников, занятых на тяжелых и опасных работах.
ст. 89 п. 1	Предоставляются дополнительные оплачиваемые ежегодные трудовые отпуска продолжительностью не менее шести календарных дней для работников на тяжелых и опасных работах.
ст. 105 п. 1	Оплата труда для работников на тяжелых и опасных работах устанавливается в повышенном размере по сравнению с оплатой труда работников с нормальными условиями труда.
ст. 182 п. 2	Работодатель обязан создавать санитарно-гигиенические условия, обеспечивать работников молоком или равноценными пищевыми продуктами, специализированными продуктами для диетического питания.
Социальный кодекс РК	
ст. 195-1	Устанавливает право на социальную защиту для лиц, занятых на работах с вредными условиями труда, при достижении 55-летнего возраста и уплате обязательных профессиональных пенсионных взносов в совокупности не менее 84 месяцев.

Постановление Правительства РК от 26.03.2014 г. № 255	Об утверждении Правил осуществления обязательных профессиональных пенсионных взносов.
Закон Республики Казахстан "О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты по вопросам общественных объединений и социальной защиты лиц, занятых на работах с вредными условиями труда"	Подписан Главой государства, включает новые выплаты и социальные гарантии для работников на вредных работах (PRO1С) (PRO)
Приказы Министерства здравоохранения и социального развития РК	
№ 1053 от 28.12.2015 г.	Об утверждении Списка производств, цехов, профессий и должностей, перечня тяжелых и опасных работ, дающих право на сокращенное рабочее время, дополнительный отпуск и повышенную оплату труда.
№ 1054 от 28.12.2015 г.	Об утверждении Правил выдачи работникам молока или равноценных пищевых продуктов, специализированных продуктов для диетического питания, специальной одежды и других средств индивидуальной защиты.
№ 1056 от 28.12.2015 г.	Об утверждении норм выдачи работникам молока или равноценных пищевых продуктов, специализированных продуктов для диетического питания.
Приказ Министерства труда и социальной защиты населения РК от 24.05.2023 г. № 170	Об утверждении перечня производств, работ, профессий работников, занятых на работах с вредными условиями труда, для которых осуществляются обязательные профессиональные пенсионные взносы за счет средств работодателя.
Примечание – составлено авторами на основании [1-3]	

Анализ данных, приведенных в таблице 1, показывает, что в Республике Казахстан осуществляется комплексный подход к регулированию трудовых отношений и предоставлению социальных гарантий для работников, занятых на тяжелых и опасных работах. Принятие новых законодательных актов направлено на улучшение условий труда и усиление социальной защиты работников, что способствует созданию безопасных и здоровых условий труда в стране.

В 2023 году численность работников, занятых во вредных и других неблагоприятных условиях труда составляло 1 692 214 человек, что на 21065 человек больше в сравнении с 2022 годом и на

50621 человек больше в сравнении с 2021 годом.

Вредные факторы труда оказывают значительное воздействие на здоровье и работоспособность работников, что делает их изучение и регулирование важной задачей для обеспечения безопасных и здоровых условий труда. В условиях современной экономики, где значительное количество рабочих мест связано с потенциально опасными производственными процессами, понимание и минимизация вредных факторов является ключевым аспектом социальной политики и трудового законодательства.

Воздействие вредных факторов проявляется на физическом, психологическом и социальном

уровнях. Физическое воздействие может привести к различным заболеваниям и травмам, снижающим общую работоспособность работников. Психологическое воздействие выражается в повышенном уровне стресса, утомляемости и снижении когнитивных функций, что также негативно сказывается на производительности труда. Социальное и экономическое воздействие вредных факторов проявляется в снижении качества жизни работников и экономических потерях, связанных с медицинскими расходами и снижением эффективности труда (рисунок 1).

Наибольший удельный вес работающих во вредных условиях труда в 2023 году зафиксировано в следующих секторах экономики:

- добыча угля - 75,6%;
- горнодобывающая промышленность и разработка карьеров - 53,0%;
- промышленность - 41,0%;
- снабжение электроэнергией, газом, паром, горячей водой и кондиционированным воздухом - 34,8%.

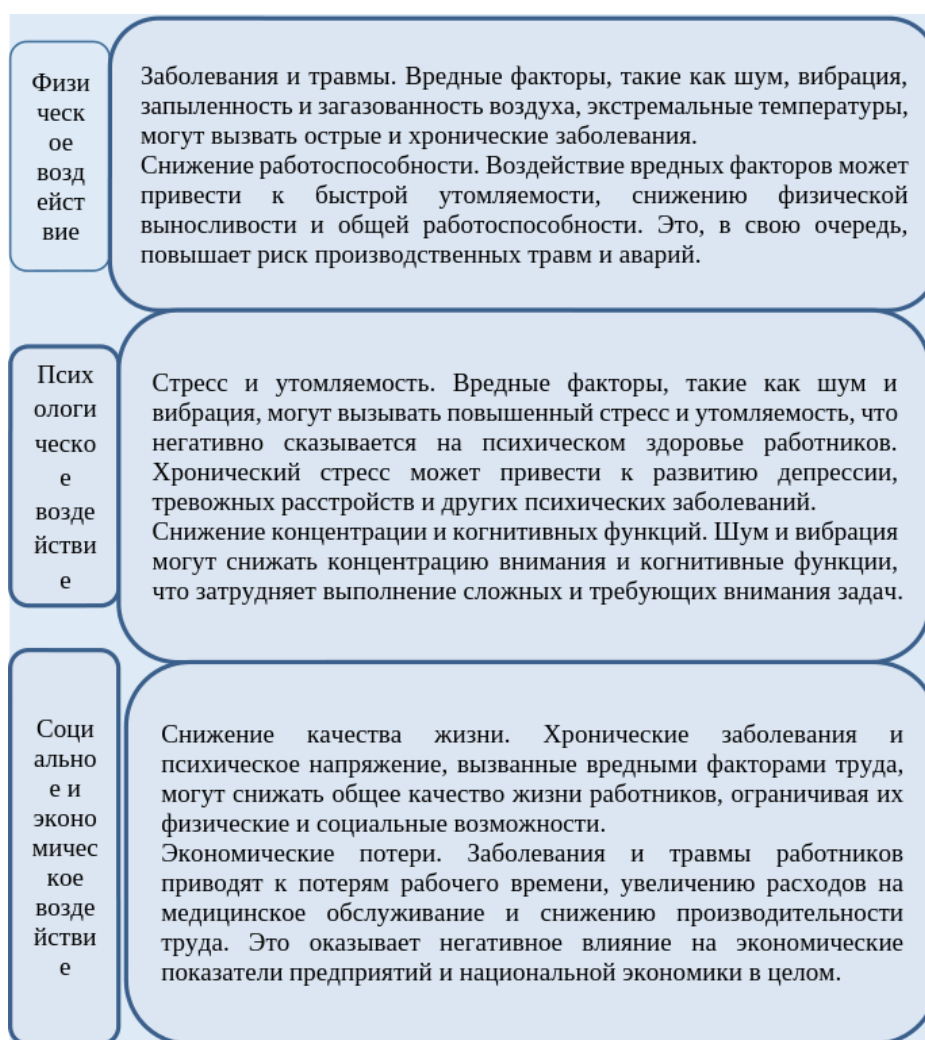


Рисунок 1 - Воздействие вредных факторов на работников

Примечание – составлено авторами

Высокий удельный вес работающих во вредных условиях труда в этих секторах обоснованы следующими факторами: усложненными технологическими процессами, использованием тяжелого оборудова-

дования и взрывчатых веществ, экстремальными температурами, воздействием токсичных веществ и др. (рисунок 2)

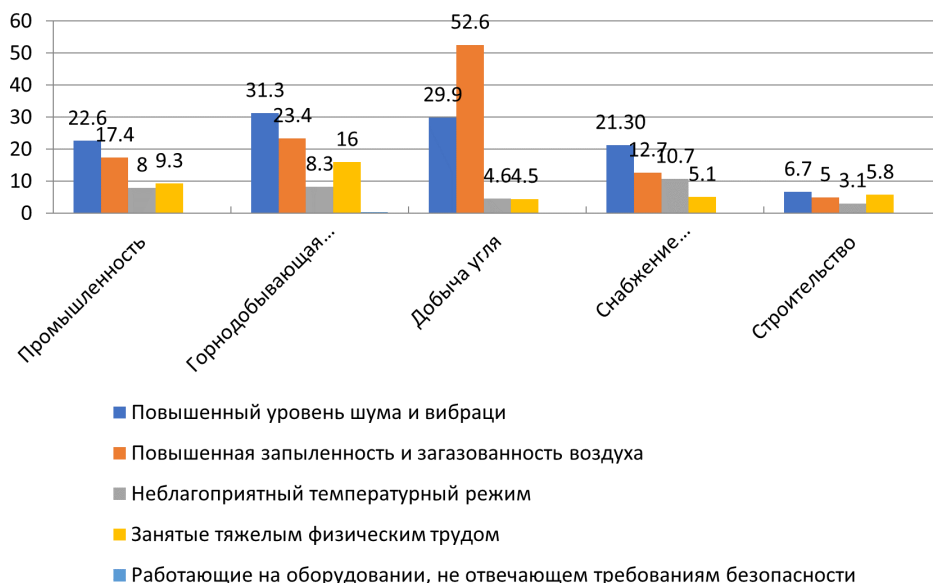


Рис.2 - Удельный вес работников, занятых во вредных и других неблагоприятных условиях труда

Примечание – составлено авторами на основании статистических данных [16]

Анализ данных по вредным условиям труда показывает, что наибольший удельный вес в добыче угля составляет запыленность и загазованность воздуха, достигая 52,6%. Этот фактор является наиболее значимым и негативно влияет на дыхательную систему работников, увеличивая риск развития хронических заболеваний легких. В горнодобывающей промышленности и разработке карьеров наиболее выражены факторы шума и вибрации, с показателем 31,3%, и запыленности воздуха - 23,4%. Эти условия связаны с использованием тяжелого оборудования и взрывчатых веществ, что повышает риск профессиональных заболеваний и травм.

Факторы шума и вибрации, запыленности и загазованности воздуха, а также неблагоприятные температурные условия являются наиболее значимыми вредными факторами в данных секторах экономики. Эти условия требуют особого внимания к улучшению условий труда и внедрению мер по охране здоровья работников.

Социальные гарантии в Республике Казахстан представляют дополнительный отпуск, сокращенный рабочий день, повышенный размер оплаты труда, обязательные профессиональные

взносы и пр.) предоставляются на основе списочного подхода с подтверждением результатами аттестации производственных объектов по условиям труда

Необходимо отметить, что в 2023 году из 1 692 214 человек, работающих во вредных условиях труда, 680 160 работников, было установлена хотя бы одна из компенсаций. На сегодняшний день в Казахстане существуют следующие виды компенсаций:

- дополнительные отпуска;
- сокращенный рабочий день;
- лечебно-профилактическое питание;
- молоко и равноценные пищевые продукты;
- доплаты за вредные и другие неблагоприятные условия труда.

Общая сумма затрат на компенсации за работу во вредных и других неблагоприятных условиях труда по всем видам экономической деятельности составляет 207 631 773 тыс. тенге. Структура компенсаций за работу во вредных и других неблагоприятных условиях труда представлена на рисунке 3.

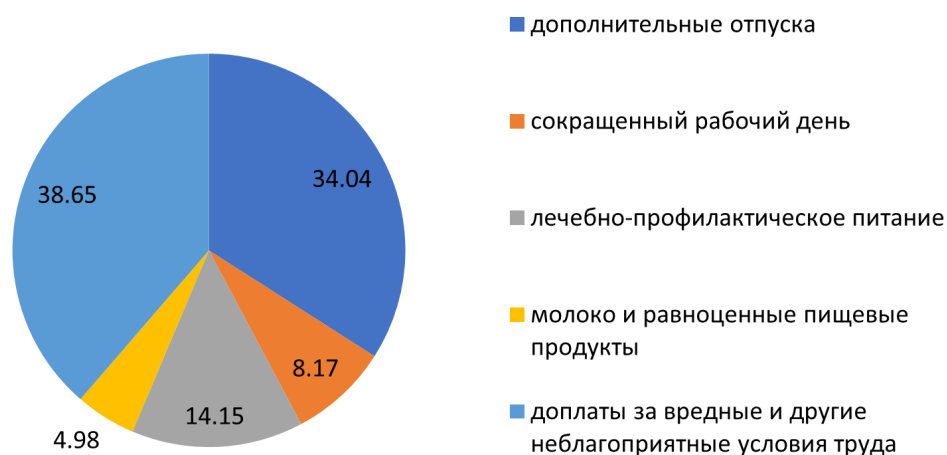


Рис. 3 – Структура компенсаций за работу во вредных и других неблагоприятных условиях труда

Примечание – составлено авторами на основании статистических данных [16]

Доплаты за вредные условия труда и дополнительные отпуска составляют наибольшую долю в части компенсаций (38,65% и 34,04% соответственно). Это свидетельствует о том, что развиваются циклические и дополнительные отпуска, которые являются возможными мерами поддержки производителей. Лечебно-профилактическое питание составляет 14,15% от общей структуры компенсаций, что обеспечивает измерение меры по сохранению здоровья через специальное питание. Меньшая доля приходится на сокращенный рабочий день и предоставление молока. Сокращенный рабочий день и прибавка молока составляют меньшую долю в общей шкале компенсаций (соответственно 8,17% и 4,98%). Это может быть связано с тем, что применяются некоторые ограничения или особенности.

Для выявления диспропорций и несправедливостей был проведен сравнительный анализ, позволяющий выявить возможные несоответствия в предоставлении компенсаций между мужчинами и женщинами, а также между работниками различных форм собственности. Это важно для разработки рекомендаций по устранению таких несправедливостей и обеспечения равных условий труда для всех работников.

В государственной собственности общее количество работников, которым установлены компенсации за работу во вредных условиях, составляет 196 935 человек, что составляет 28,95% от общего числа работников, занятых во вредных условиях труда в данном секторе. Из них 66 993 мужчины (14,51%) и 129 942 женщины (59,51%).

Таблица 2 – Анализ данных по численности работников и компенсациям в Республике Казахстан

	государственная собственность		частная собственность		иностранная собственность		всего
	чел.	%	чел.	%	чел.	%	
Численность работников, занятых во вредных и других неблагоприятных условиях труда по регионам	457 874	27,399	1017417	60,881	195858	11,72	1 671 149
мужчины	150 887	15,122	701667	70,322	145235	14,556	997 789

женщины	306 987	45,59	315750	46,892	50623	7,518	673 360
Численность работников, которым за работу во вредных и других неблагоприятных условиях труда установлены компенсации	196935	28,954	383716	56,416	99509	14,63	680 160
мужчины	66993	14,507	311888	67,536	82928	17,957	461 809
женщины	129942	59,511	71828	32,896	16581	7,5937	218 351
Сумма затрат на компенсации за работу во вредных и других неблагоприятных условиях труда по отдельным видам экономической деятельности (тыс.тенге)	39314722	18,935	128 998 360,7	62,128	39 318 690	18,937	207 631 773
Примечание – составлено авторами на основании статистических данных [16]							

В частной собственности общее количество работников, которым установлены компенсации, составляет 383 716 человек, что составляет 56.42% от общего числа работников, занятых во вредных условиях труда в частном секторе. Из них 311 888 мужчины (67.54%) и 71 828 женщины (32.90%).

В иностранной собственности общее количество работников, которым установлены компенсации, составляет 99 509 человек, что составляет 14.63% от общего числа работников, занятых во вредных условиях труда в иностранных компаниях. Из них 82 928 мужчины (17.96%) и 16 581 женщины (7.59%) (таблица 2).

Государственные предприятия в 2023 году предоставили компенсации 28,95% работников, занятых во вредных условиях труда. Женщины в государственном секторе получили компенсации чаще, чем мужчины, что может свидетельствовать о большей концентрации женщин в работах, подлежащих компенсации. Частные организации обеспечили компенсациями 56,42% работников, занятых во вредных условиях труда. В частном секторе в 2023 году значительно боль-

ше мужчин получили компенсации, чем женщины, что может указывать на преобладание мужчин в профессиях с вредными условиями труда, либо на более высокие компенсационные ставки для мужчин. В иностранных компаниях компенсации были установлены для 14,63% работников. Подобно частному сектору, в иностранных компаниях компенсации больше получили мужчины, что также может быть связано с типами работ и условиями труда в этих предприятиях.

В государственной собственности часто наблюдается меньший уровень компенсаций по сравнению с частными и иностранными предприятиями. Это может быть связано с более строгими бюджетными ограничениями, сложными бюрократическими процедурами и недостаточной информированностью работников о своих правах. В частных и иностранных компаниях, напротив, компенсации предоставляются чаще и в большем объеме, что может объясняться лучшими финансовыми возможностями и желанием этих предприятий привлекать и удерживать квалифицированных сотрудников.

Несоответствие в выплатах компенсаций отоб-

ражается на всей системе социальных гарантий, что указывает на существующие проблемы механизме предоставления социальных гарантий. Это требует пересмотра и улучшения существующих механизмов предоставления компенсаций и социальных гарантий, чтобы обеспечить равные и справедливые условия для всех работников, независимо от формы собственности предприятия. Улучшение системы социальных гарантий будет способствовать созданию более безопасных и здоровых условий труда, что положительно скажется на общем состоянии производственной среды и благосостоянии работников.

На сегодняшний момент, социальные гарантии в Казахстане предоставляются на основе списочного подхода с подтверждением результатами аттестации производственных объектов по условиям труда. Социальные гарантии для работников, занятых на тяжелых и вредных производствах, предоставляются на основе списочного подхода и подтверждаются результатами аттестации производственных объектов по условиям труда.

Однако можно отметить, что процедура проведения аттестации производственных объектов по условиям труда проводится не всегда качественно и не отражает фактические условия труда, также не учитывает риски и дифференциацию для каждого рабочего места.

Кроме того, отсутствие единого подхода к оценке условий труда и критериев для проведения аттестации приводит к неоднородности в применении социальных гарантий. Это, в свою очередь, создает предпосылки для несправедливого распределения компенсаций и льгот, что может вызывать социальную напряженность среди работников.

Для решения этих проблем необходимо пересмотреть текущую систему аттестации рабочих мест с целью обеспечения её объективности и прозрачности. Это может включать в себя следующие шаги:

- Разработка единых стандартов и критериев оценки условий труда. Введение унифицированных правил и процедур, которые будут применяться ко всем предприятиям независимо от

их формы собственности, позволит создать более справедливую систему оценки.

- Усиление контроля за проведением аттестации. Создание независимых органов или комиссий, которые будут проводить регулярные проверки качества аттестации производственных объектов, поможет минимизировать ошибки и злоупотребления.
- Внедрение дифференцированного подхода к оценке рабочих мест. Учет специфики каждого рабочего места и индивидуальных рисков позволит более точно определить необходимый уровень компенсаций и социальных гарантий.
- Обучение и повышение квалификации специалистов по охране труда. Повышение уровня подготовки кадров, занимающихся аттестацией, гарантирует, что результаты будут более достоверными и соответствующими реальным условиям труда.
- Разработка системы обратной связи для работников. Введение механизмов, позволяющих работникам сообщать о несоответствиях в условиях труда и в оценке их рабочих мест, поможет оперативно выявлять и устранять проблемы.

Эти меры могут значительно повысить эффективность системы социальных гарантий в Казахстане, сделав её более прозрачной, справедливой и соответствующей реальным потребностям работников. В конечном итоге, это приведет к улучшению условий труда, снижению уровня профессиональных заболеваний и травматизма, а также к повышению общей удовлетворенности трудящихся.

Выводы. Проведенное исследование подтвердило наличие значительных проблем в системе предоставления социальных гарантий для работников, занятых на вредных и опасных производствах в Республике Казахстан. Основные выводы можно сформулировать следующим образом:

- неоднородность предоставления социальных гарантий. Исследование показало, что существующая система оценки условий труда и последующая аттестация производственных объектов часто не отражают реальные условия труда. Это приводит к неравномерному распре-

-
- лению компенсаций и льгот среди работников различных форм собственности и секторов экономики.
 - недостатки в системе аттестации рабочих мест. Отсутствие единых стандартов и критериев для оценки условий труда ведет к возникновению значительных различий в результатах аттестации, что создает предпосылки для несправедливого распределения социальных гарантий.
 - необходимость пересмотра и совершенствования механизмов. Для обеспечения равных и справедливых условий труда необходимо пересмотреть текущие механизмы предоставления социальных гарантий. Внедрение дифференцированного подхода к оценке рабочих мест и усиление контроля за проведением аттестации может существенно улучшить ситуацию.
 - рекомендации по улучшению системы социальных гарантий. Важным шагом в этом направлении является разработка унифицированных правил и процедур, которые будут применяться ко всем предприятиям, а также создание независимых органов для контроля за качеством аттестации. Дополнительно, обучение и повышение квалификации специалистов по охране труда могут значительно повысить достоверность оценки условий труда.
- Финансирование.** В статье изложены результаты исследований, полученных в ходе реализации научно-технической программы на тему «Трансформация государственного механизма социальных гарантий в отношении лиц, занятых во вредных условиях труда в современном контексте» (ИРН BRN22182673-ОТ-24).

Литература

1. Трудовой кодекс Республики Казахстан - <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000414>
2. Об утверждении перечня производств, работ, профессий работников, занятых на работах с вредными условиями труда, в пользу которых агентами по уплате обязательных профессиональных пенсионных взносов за счет собственных средств осуществляются обязательные профессиональные пенсионные взносы - <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2300032568>
3. Закон Республики Казахстан О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам общественных объединений и социальной защиты лиц, занятых на работах с вредными условиями труда - https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35874764
4. А. М. Елин, С. С. Сергеева Специальная оценка условий труда: практика и итоги // Нормативные акты и документы - № 2 (92) 2020, март-апрель – с. 52-59 DOI 10.18635/2071-2219-2020-2-52-59
5. Хайруллина Л.И., Гасилов В.С. Компенсации за работу во вредных условиях труда: основные аспекты вопроса // Фундаментальные исследования. 2019. URL: <https://s.fundamental-research.ru/pdf/2019/7/42523.pdf> (дата обращения: 22.08.2024).
6. Ильин С.М., Самарская Н.А., Симанович С.В., Сергеева С.С. Направления совершенствования системы предоставления гарантий и компенсаций работникам за работу в опасных (вредных) условиях труда // Экономика труда. – 2021. – Том 8. – № 9. – С. 1055–1074. doi: 10.18334/et.8.9.113564
7. Божков А.Д. Аналитическая оценка эффективности затрат на улучшение мероприятий по охране труда на ООО «Меганом» Аллея науки. 2018. Т. 1. № 5 (21). С. 462-466.
8. Рыбалченко К.Ю., Бухтояров В.Ф. Зависимости между затратами на охрану труда и показателями производственного электротравматизма (на примере южно-уральской железной дороги) // Фундаментальные исследования. 2013. № 8-1. С. 49-52.
9. Дождева А.А. Мировой опыт формирования затрат на охрану и условия трудам - В сборнике: Современные проблемы экономического развития. Материалы Всероссийской научной студенческой конференции. Отв. ред. Е.А. Кипервар. 2019. С. 89-95.

- 10.Абикенова Ш.К., Айткенова Г.Т., Махатов Е.М., Кенжебаева К.М. Разработка классификации затрат на охрану труда - В сборнике: Приоритетные направления развития науки и образования. сборник статей XX Международной научно-практической конференции. Пенза, 2021. С. 96-98.
- 11.Еселханова Г.А., Танабаева А.Е. Нормативно-правовое регулирование предоставления гарантий работникам, занятым во вредных и опасных условиях труда в Республике Казахстан// Научное обозрение • Технические науки № 1, 2017 – с. 71-74
- 12.С.М. Базарбаева, С.Т. Шорманов, С.Т. Толеугали «Анализ действующего механизма регулирования труда лиц, занятых в неблагоприятных условиях»// Наука и мир. 2017. № 11 (51). Vol. I. – с.26-27
- 13.Muhammad Ajmal, Ahmad Shahrul Nizam Isha, Shahrina Md Nordin «Safety Management Practices and Occupational Health and Safety Performance: An Empirical Review»// Jinnah Business Review - July 2021, Vol. 9, No. 2, pp. 15-33 DOI:10.53369/DTOC3606
- 14.Effect of Occupational Health and Safety Management System on Work-Related Accident Rate and Differences of Occupational Health and Safety Management System Awareness between Managers in South Korea's Construction Industry.
- 15.Liu, S., Nkrumah, E. N. K., Akoto, L. S., Gyabeng, ., and Nkrumah, E. (2020). The state of occupational health and safety management frameworks (ohsmf) and occupational injuries and accidents in the ghanaiian oil and gas industry: assessing the mediating role of safety knowledge. BioMed research international, 2020.
- 16.<https://stat.gov.kz/ru/industries/labor-and-income/stat-wags/>

References

- 1.Trudovoj kodeks Respubliki Kazahstan - <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000414>
- 2.Ob utverzhdenii perechnja proizvodstv, rabot, professij rabotnikov, zanjatyh na rabotah s vrednymi uslovijami truda, v pol'zu kotoryh agentami po uplate objazatel'nyh professional'nyh pensionnyh vnosov za schet sobstvennyh sredstv osushhestvljajutsja objazatel'nye professional'nye pensionnye vnosy - <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2300032568>
- 3.Zakon Respubliki Kazahstan O vnesenii izmenenij i dopolnenij v nekotorye zakonodatel'nye akty Respubliki Kazahstan po voprosam obshhestvennyh ob#edinenij i social'noj zashhity lic, zanjatyh na rabotah s vrednymi uslovijami truda - https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=35874764
- 4.A. M. Elin, S. S. Sergeeva Special'naja ocenka uslovij truda: praktika i itogi//Normativnye akty i dokumenty - № 2 (92) 2020, mart-aprel' – s. 52-59 DOI 10.18635/2071-2219-2020-2-52-59
- 5.Hajrullina L.I., Gasilov V.S. Kompensacii za rabotu vo vrednyh uslovijah truda: osnovnye aspekty voprosa // Fundamental'nye issledovaniya. 2019. URL: <https://s.fundamental-research.ru/pdf/2019/7/42523.pdf> (data obrashhenija: 22.08.2024).
- 6.Il'in S.M., Samarskaja N.A., Simanovich S.V., Sergeeva S.S. Napravlenija sovershenstvovaniya sistemy predostavlenija garantij i kompensacij rabotnikom za rabotu v opasnyh (vrednyh) uslovijah truda // Jekonomika truda. – 2021. – Tom 8. – № 9. – S. 1055–1074. doi: 10.18334/et.8.9.113564
- 7.Bozhkov A.D. Analiticheskaja ocenka jeffektivnosti zatrat na uluchshenie meroprijatij po ohrane truda na OOO «Meganom» Alleja nauki. 2018. T. 1. № 5 (21). S. 462-466.
- 8.Rybalchenko K.Ju., Buhtojarov V.F. Zavisimosti mezhdju zatratami na ohranu truda i pokazateljami proizvodstvennogo jelektrotravmatizma (na primere juzhno-ural'skoj zheleznoj dorogi) // Fundamental'nye issledovaniya. 2013. № 8-1. S. 49-52.

-
9. Dozhdeva A.A. Mirovoj opyt formirovaniya zatrat na ohranu i usloviya trudem - V sbornike: Sovremennye problemy jekonomicheskogo razvitiya. Materialy Vserossijskoj nauchnoj studencheskoj konferencii. Otv. red. E.A. Kipervar. 2019. S. 89-95.
10. Abikenova Sh.K., Ajtkenova G.T., Mahatov E.M., Kenzhebaeva K.M. Razrabotka klassifikacii zatrat na ohranu truda - V sbornike: Prioritetnye napravleniya razvitiya nauki i obrazovaniya. sbornik statej XX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Penza, 2021. S. 96-98.
11. Eselhanova G.A., Tanabaeva A.E. Normativno-pravovoe regulirovanie predostavleniya garantij rabotnikam, zanjatym vo vrednyh i opasnyh usloviyah truda v Respublike Kazahstan// Nauchnoe obozrenie • Tehnicheskie nauki № 1, 2017 – s. 71-74
12. S.M. Bazarbaeva, S.T. Shormanov, S.T. Toleugali «Analiz dejstvujushhego mehanizma regulirovaniya truda lic, zanjatyh v neblagoprijatnyh usloviyah»//
13. Muhammad Ajmal, Ahmad Shahrul Nizam Isha, Shahrina Md Nordin «Safety Management Practices and Occupational Health and Safety Performance: An Empirical Review»// Jinnah Business Review - July 2021, Vol. 9, No. 2, pp. 15-33 DOI:10.53369/DTOC3606
14. Effect of Occupational Health and Safety Management System on Work-Related Accident Rate and Differences of Occupational Health and Safety Management System Awareness between Managers in South Korea's Construction Industry.
15. Liu, S., Nkrumah, E. N. K., Akoto, L. S., Gyabeng, ., and Nkrumah, E. (2020). The state of occupational health and safety management frameworks (ohsmf) and occupational injuries and accidents in the Ghanaian oil and gas industry: assessing the mediating role of safety knowledge. BioMed research international, 2020.
16. <https://stat.gov.kz/ru/industries/labor-and-income/stat-wags/>

Сведения об авторах

Курманов А.М.- к.э.н., генеральный директор Республиканского научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики Казахстан, Астана, e-mail: rniiot@rniiot.kz;

Сарыбаева И.Е.-докторант Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: inarasaribaeva@gmail.com;

Омаркожаева А.Н.- к.э.н., доцент Казахский университет технологии и бизнеса им.К.Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: asya_7510@mail.ru;

Бекмагамбетов А.Б. – к.ю.н., ассоциированный профессор, зам. генерального директора Республиканского научно-исследовательский институт по охране труда Министерства труда и социальной защиты населения Республики, e-mail: adilet1979@mail.ru

Information about the authors

A.M.Kurmanov - Candidate of Economic Sciences, CEO, General Director of the Republican Research Institute for Labor Protection of the Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic Kazakhstan, e-mail: rniiot@rniiot.kz;

I.E. Sarybayeva – PhD student of L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, e-mail: inarasaribaeva@gmail.com;

A.N. Omarkozhayeva - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: asya_7510@mail.ru;

A.B.Bekmagambetov - Candidate of Legal Sciences, Associate Professor, Deputy Director General of the Republican Scientific Research Institute for Labor Protection of the Ministry of Labor and Social

Protection of the Population of the Republic Kazakhstan, e-mail: adilet1979@mail.ru

Редактор: Оспанова М.К.

Верстка: Ундасынов Р. Е., Амангелді Ш.Т.

Подписано в печать 30.09.2024 г.

Издание АО «КазУТБ» 010000, Астана, Казахстан, ул. Кайыма Мухамедханова, 37 А,

Рабочий телефон +(7172)72-58-12(134) Email: vestnik@kaztbu.kz