



**DULATY**  
UNIVERSITY  
Taraz | since 1958

№ 3  
2025

ISSN 2308-9865  
e-ISSN 2959-7994

# МЕХАНИКА және ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ғылыми журналды

Научный журнал

**МЕХАНИКА и  
ТЕХНОЛОГИИ**

Scientific Journal

**MECHANICS &  
TECHNOLOGIES**

**«Механика және технологиялар» журналы:**



Ұлыбританияның Инжиниринг және технологиялар институтының *Physics, Electronics and Computing (INSPEC DIRECT)* ақпараттық қызметінің рефераттық дерекқорына кіреді.

<http://inspecdirect-service.theiet.org/private/home.aspx>



РИНЦ ғылыми дәйексөз Ресей ұлттық библиографиялық дерекқорында тіркелген.

[http://elibrary.ru/project\\_risc.asp](http://elibrary.ru/project_risc.asp)

Жыл	Импакт-фактор
2016	0,011
2017	0,032
2018	0,040
2019	0,028
2020	0,034



ҰМҒТСО  
ҰЛТТЫҚ МЕМЛЕКЕТТІК ҒЫЛЫМИ-  
ТЕХНИКАЛЫҚ САРАПТАМА  
ОРТАЛЫҒЫ

Қазақстандық дәйексөз базасы бойынша импакт-факторы бар:

Жыл	Импакт-фактор
2015	0,030
2016	0,011
2017	0,053
2018	0,054
2019	0,042
2020	0,088

[http://www.nauka.kz/page.php?page\\_id=794&lang=1#](http://www.nauka.kz/page.php?page_id=794&lang=1#)



Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті

ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК басылымдарының тізбесіне келесі ғылыми бағыттар бойынша енгізілген (12.07.2024 ж. №603 бұйрық):

- құрылыс технологиялары;
- жеңіл өнеркәсіп технологиялары;
- химиялық технологиялар;
- тамақ өнімдерінің технологиялары.

CrossRef – халықаралық DOI қорының Цифрлық нысандар идентификаторларын тіркеу ресми агенттігіне енгізілген.



<https://www.crossref.org/>

Журналдың жазылым индексі: 74714 («Қазпошта» АҚ-«Пошталық қызмет»)

## Журнал «Механика и технологии»:



Входит в реферативную базу данных Information Service for Physics, Electronics and Computing (INSPEC DIRECT) Института Инжиниринга и Технологий Великобритании.

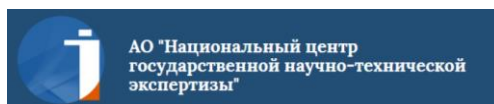
<http://inspecdirect-service.theiet.org/private/home.aspx>



Зарегистрирован в российской национальной библиографической базе данных научного цитирования РИНЦ

[http://elibrary.ru/project\\_risc.asp](http://elibrary.ru/project_risc.asp)

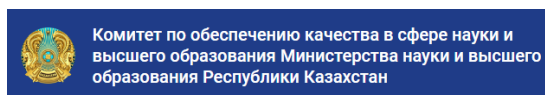
Год	Импакт-фактор
2016	0,011
2017	0,032
2018	0,040
2019	0,028
2020	0,034



Имеет импакт-фактор по Казахстанской базе цитирования:

Год	Импакт-фактор
2015	0,030
2016	0,011
2017	0,053
2018	0,054
2019	0,042
2020	0,088

[http://www.nauka.kz/page.php?page\\_id=794&lang=1#](http://www.nauka.kz/page.php?page_id=794&lang=1#)



Включен в перечень изданий КОКСНВО МНВО РК по следующим научным направлениям (приказ №603 от 12.07.2024 г.):

- строительные технологии;
- технологии легкой промышленности;
- химические технологии;
- технологии в сфере продуктов питания.

Интегрирован в Crossref – официальное агентство регистрации Цифровых Идентификаторов Объекта международного DOI фонда.



<https://www.crossref.org/>

Подписной индекс журнала: 74714 (АО «Казпочта»-«Почтовый сервис»)



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ  
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«М.Х. ДУЛАТИ атындағы  
ТАРАЗ УНИВЕРСИТЕТІ»  
КЕ АҚ

## МЕХАНИКА ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ғылыми журнал

1994 жылдың қаңтарынан бастап шығады

Жылына төрт рет шығады



ISSN 2308-9865  
e-ISSN 2959-7994

**№ 3 (89)**  
Шілде-қыркүйек  
2025 ж.

*Бас редактор* И.И. Бекбасаров

*Редакция алқасы:* Н.А. Абиев, Б. Абзалбекұлы, Н.С. Амирова,  
С. Әлтайұлы, И.И. Бекбасаров, И.С. Бровко, Ю.Л. Винников,  
Ж.К. Гафуров, А.С. Жақулин, А.Ж. Жусупбеков, М.Т. Кейкиманова,  
О. Крейчи, Э.М. Мамбетов, Ж.Н. Молдамуратов, М.М. Мукимов,  
Чен Йе Нг, А. Нурлыбаева, Г.Е. Омарова, С.А. Орынбаев,  
А.В. Пилягин, А.А. Сағындықов, Х.Р. Садиева, М.П. Саинов,  
Н.А. Смирнова, Б.Ж. Унайбаев, А.А. Чуркин, Я. Шульц

*Корректор және компьютерлік беттеу* Ж.К. Боркулакова

*Редакция мекен-жайы:*

080000, Тараз қаласы, Төле би көшесі, 60.

Тел.: 8 7262 45-35-10, факс: 8 7262 43-24-02.

<https://mit.dulaty.kz> E-mail: [mit@dulaty.kz](mailto:mit@dulaty.kz)

Тіркеу куәлігі №1193 (23.11.1993), №560-Ж (4.02.1999), №4244-Ж  
(08.10.2003), №13521-Ж (15.04.2013), №KZ93VPY00027164 (23.09.2020),  
№KZ79VPY00113746 (28.02.2025).

Басуға қол қойылған күн 30.09.2025. Форматы 70×180/16. Шартты баспа  
табағы 35,11. Тираж 300 дана. Тапсырыс 375.

М.Х. Дулати атындағы Тараз университетінің «Dulaty University» баспасы.  
080000, Тараз қаласы, Ы.Сүлейменов көшесі, 11.

© М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НАО  
«ТАРАЗСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.Х. ДУЛАТИ»



## МЕХАНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

ISSN 2308-9865  
e-ISSN 2959-7994

Научный журнал

Издается с января 1994 года

Выходит четыре раза в год

№ 3 (89)

Июль-сентябрь  
2025 г.

*Главный редактор И.И. Бекбасаров*

*Редакционная коллегия:* Н.А. Абиев, Б. Абзалбекұлы, Н.С. Амирова, С. Әлтайұлы, И.И. Бекбасаров, И.С. Бровко, Ю.Л. Винников, Ж.К. Гафуров, А.С. Жақулин, А.Ж. Жусупбеков, М.Т. Кейкиманова, О. Крейчи, Э.М. Мамбетов, Ж.Н. Молдамуратов, М.М. Мукимов, Чен Йе Нг, А. Нурлыбаева, Г.Е. Омарова, С.А. Орынбаев, А.В. Пилягин, А.А. Сағындықов, Х.Р. Садиева, М.П. Саинов, Н.А. Смирнова, Б.Ж. Унайбаев, А.А. Чуркин, Я. Шульц

*Корректор и компьютерная верстка Ж.К. Боркулакова*

*Адрес редакции:*

080000, г. Тараз, ул. Толе би, 60.

Тел.: 8 7262 45-35-10, факс: 8 7262 43-24-02.

<https://mit.dulaty.kz> E-mail: [mit@dulaty.kz](mailto:mit@dulaty.kz)

Свидетельство о регистрации №1193 (23.11.1993), №560-Ж (4.02.1999), №4244-Ж (08.10.2003), №13521-Ж (15.04.2013), №KZ93VPY00027164 (23.09.2020), №KZ79VPY00113746 (28.02.2025).

Подписано в печать 30.09.2025. Формат 70×180/16. Усл. печ. л. 35,11. Тираж 300 экз. Заявка 375.

Издательство «Dulaty University» Таразского университета им. М.Х. Дулати. 080000, г. Тараз, ул. Ы.Сулейменова, 11.

© Таразский университет имени М.Х. Дулати, 2025

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGH EDUCATION  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

M.Kh. DULATY  
TARAZ UNIVERSITY

## MECHANICS & TECHNOLOGIES

Scientific Journal

Published since January 1994

Published four times a year



ISSN 2308-9865  
e-ISSN 2959-7994

**No. 3 (89)**  
July-September  
2025

*Editor in chief* I.I. Bekbasarov

*Editorial board:* N.A. Abiev, B. Abzalbekuly, N.S. Amirova, S. Altayuly, I.I. Bekbasarov, I.S. Brovko, Chen Ye Ng, A.A. Churkin, J.K. Gafurov, A.S. Zhakulin, A.J. Zhusupbekov, M.T. Keikimanova, O. Krejci, E.M. Mambetov, Zh.N. Moldamuratov, M.M. Mukimov, A. Nurlybayeva, G.E. Omarova, S.A. Orynbayev, A.V. Pilyagin, A.A. Sagyndykov, Kh.R. Sadieva, M.P. Sainov, J. Schulz, N.A. Smirnova, B.Zh. Unaibayev, Yu.L. Vinnikov

*Press-corrector and computer page makeup* Zh.K. Borkulakova

*Editorial address:*

080000, Taraz, Tole bi street, 60.

Tel.: 8 7262 45-35-10, fax: 8 7262 43-24-02.

<https://mit.dulaty.kz> E-mail: [mit@dulaty.kz](mailto:mit@dulaty.kz)

Registration certificate №1193 (23.11.1993), №560-Ж (4.02.1999), №4244-Ж (08.10.2003), №13521-Ж (15.04.2013), №KZ93VPY00027164 (23.09.2020), №KZ79VPY00113746 (28.02.2025).

Signed in print 30.09.2025. Form 70×180/16. Cond. print. sh. 35.11. Edition 300 copies. Application 375.

Printing House «Dulaty University» of M.Kh. Dulaty Taraz University.  
080000, Taraz, Suleimenov street, 11.

© M.Kh. Dulaty Taraz University, 2025

## МАЗМҰНЫ / СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

### ТАМАҚ ӨНІМДЕРІНІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

#### ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

#### FOOD TECHNOLOGIES

<b>Даутканов Н.Б., Усембаева Ж.К., Даутканова Д.Р., Қажымұрат А.Т., Усембаев М.К.</b> Производство и переработки сои в РК .....	9
<b>Хамитова Б.М., Тұрлыбек М.Ә., Садырбаева И.Р.</b> Функционалды ингредиенттері қосылған сүт тұздығының физика- химиялық және органолептикалық көрсеткіштерін бағалау .....	18
<b>Orazov A., Nadtochii L.</b> Study of the influence of pollen on the quality of fermented ice cream .....	27
<b>Тултабаева Т.Ч., Жакупова Г.Н., Макангали К.К., Шоман А.Е., Мулдашева А.Х., Сағандық А.Т., Ахметжанова А.Т.</b> Әр түрлі ауылшаруашылық жануарларының сүтін жұмсақ ірімшік өндіру технологиясында қолдану .....	38
<b>Онгарбаева Н., Изтаев А.И., Киябаева А.Т., Якияева М.А., Кенжеходжаев М.Д.</b> Влияние дисперсного состава тритикалевой муки на её химические показатели и реологию теста .....	47
<b>Аубакирова Г.Е., Бекболатова А.Т., Кульпиисова А.А.</b> Салмағы 0,3 кг кебек қосылған бидай ұнынан жасалған шығыс лепешкасының технологиясы .....	63
<b>Дуисебаев Ш.Е., Сатаев М.И., Азимов А.М., Аширбаев Ж.С., Алексеева Н.В., Шакирьянова З.М.</b> Газды кептіру қондырғысымен тиімді жағдайда жеміс-жидектерді кептіру әдісі .....	71
<b>Ержанова М.Е., Солтыбаева Б.Е., Садыбаев А.К., Боранкулова А.С., Умирбекова А.С., Алашбаева Л.Ж.</b> Қауын ұтағы қосылған ұлттық нан өнімдерін өндірудің технологиясын зерттеу .....	82
<b>Соболь И.В., Варивода А.А., Донченко Л.В.</b> Разработка научной концепции экологически безопасных промышленных способов хранения продукции растениеводства .....	91
<b>Байгельдиева М.Х., Токтосунов Б.И., Аубакиров Х.А., Аубакирова Г.Е.</b> Инновационная технология переработки отходов убойных животных для кормовой добавки .....	100
<b>Умирбекова А.С., Мынбаева А.Б., Сметанская И.Н., Боранкулова А.С., Саршаева А.Б., Нұрмахан А.Б.</b> Нан өндіру технологиясында өнген жасымық ұнын қолдануды зерттеу	107

## ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

### ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

### CHEMICAL TECHNOLOGIES

<b>Тлевлесова Д.А., Болкенов Б.Т., Бекбаева Р., Бекбаев К.С., Даниярова А.Е.</b> Влияние предварительной обработки пивной дробины на параметры ферментации и продукцию водорода .....	116
<b>Reimbayev Y.K., Kanatbek U.G., Kurtebayeva A.A., Orynbayev S.A., Helder T.G., Kalmakhanova M.S.</b> Application of natural clay and bio-based activated carbon for the adsorptive removal of paracetamol from wastewater .....	128
<b>Садиева Х.Р., Умбетова Ш.М., Ниязова Д.Ж., Зарбалиев М.С., Копен М.Б.</b> Синтез полимерных углеродных серебросодержащих наносорбентов для удаления ионов $Fe^{2+}$ , $Fe^{3+}$ , $Mn^{2+}$ , $Cu^{2+}$ и $Al^{3+}$ из загрязненных вод .....	138
<b>Azimov A., Bolysbek A.A., Iztleuov G.M.</b> Development of chemical technologies for new biodegradable hydrogels based on chitosan .....	146
<b>Baldo A.P., Ferreira A.P., Gomes H.T.</b> Development of polymeric membranes with carbon additives for removal of phenol .....	159
<b>Kanatbek U.G., Karimbaeva Zh.E., Zhienbaeva A.S., Reimbayev Y.K., Kurtebayeva A.A., Jumbri Kh., Orynbayev S.A., Kalmakhanova M.S.</b> Optimization of biochar production from agro-industrial waste of the Zhambyl region using Response Surface Methodology for application in permeable reactive barriers .....	167
<b>Azimov A., Bolysbek A.A., Iztleuov G.M.</b> Study of the chemical technological process for obtaining hydrogels based on acrylic acids .....	181
<b>Умбетова Ш.М., Аппазов Н.О., Садиева Х.Р., Ниязова Д.Ж., Еспанова И.Д., Копен М.Б., Баймаханов Ө.С.</b> Разработка технологии доочистки сточных вод с использованием природных сорбентов .....	191
<b>Устабаев Т.Ш., Балгабаев Н.Н., Тумлерт В.А., Алимбетова Г.С., Исмаилов Б.Д., Тельгараева Г.Е., Жаксыбек Б.М.</b> Химико-технологические аспекты водоподготовки подземных вод с высоким содержанием солей для обводнения пастбищ .....	199

## ЖЕҢІЛ ӨНЕРКӘСІП ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

### ТЕХНОЛОГИИ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### LIGHT INDUSTRY TECHNOLOGIES

- Байдильдаева А.К., Каравана Х.А., Джиембетова И.С.,  
Джумабекова Г.Б., Абзалбекулы Б.**  
Былғары мен аяқ киім астарына өңделген микробөлшектердің жүктеу тиімділігі және in vitro босату зерттеулері ..... 211
- Arystanova G.V., Bekbolatova K.M., Aiiyrkanova N.A.**  
Study of the anthropometric structure of military uniforms of the Republic of Kazakhstan personnel ..... 217
- Максудова Д.Т., Илхамова М.У., Турсунова Д.К.**  
Гендерно-ориентированный анализ параметров стопы, полученных с использованием различных методов измерения, и оценка взаимосвязи степени плоскостопия с выраженностью вальгусной деформации (hallux valgus) у медицинских работников Узбекистана ..... 227
- Кенжибаева Г.С., Сихимбаева М.Т.**  
Кілем бұйымдарға арналған модификацияланған полипропилен жібінің құрамына байланысты отқа төзімділік қасиеттерінің математикалық модельдеуі ..... 234
- Боркулакова Ж.К., Шардарбек М.Ш., Абзалбекулы Б.,  
Кауымбаев Р.Т., Ташмухамедов Ф.Р., Сарыбаева Э.Е., Ораз Г.Т.,  
Жетербаева Р.А.**  
Биоцидная обработка шерстяных изоляционных материалов бурой: антимикробные свойства и огнестойкий потенциал ..... 246

## ҚҰРЫЛЫС ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### CONSTRUCTION TECHNOLOGIES

- Беккалиев Н.М., Дуйсембинов Д.С., Сабитов Е.Е., Жумагулова А.А.**  
Исследование влияния добавления алюминиевой пудры на параметры, формирование структуры и свойства газобетона ..... 255
- Толеш А.Б., Мамитова А.Д., Тажиева Т.Ч., Карлыханов О.К.,  
Бакбергенов Н.Н., Шапалов Ш.К., Аубакирова Ф.Х.**  
К вопросу устойчивости и надежности грунтовой дамбы Коксарайского контррегулятора ..... 263
- Dabi G.M., Rynkovskaya M.I., Sefissa S.D., Girma Y.M.**  
Stochastic optimization of expanded polystyrene size and proportion in concrete using machine learning ..... 274
- Сағынтай М.Қ., Адиева А.А., Ташмуханбетова И.Б.,  
Уксикбаева Д.А., Макулбай Л.Б., Мустафа А.Қ., Нұғман Е.З.**  
3D баспалық бетонды арматуралау әдістеріне шолу ..... 284

<b>Адырбаев Б.О., Дархан А.З., Куртаев А.С., Есимов Б.О., Курбанбаев М.Е., Адырбаева Т.А., Дубинина Е.С.</b> Возможность повышения кондиционности керамогранитового полевошпатового сырья на основе высококремнеземных гранитов Бадамского массива .....	295
<b>Бекбасаров И.И., Суйеншбаева К.Т., Атепов Е.А., Шаншабаев Н.А.</b> Результаты лабораторных исследований по изучению некоторых параметров фильтрации воды через образцы мелкозернистого компонента крупнообломочного грунта .....	309
<b>Оралсынқызы М., Сенников М.Н., Джолдасов С.К., Манапбаев Б.Ж., Мейрбекова А.С., Джакияев Б.Д., У.А. Отаров, Н.Т. Егенбердиев</b> Совершенствование методики и техники проведения полевых геофизических работ на Коксарайском контррегуляторе .....	319
<b>Бекбасаров И.И., Атепов Е.А., Шаншабаев Н.А.</b> Метод определения количества воды для увлажнения грунта при выштамповывании траншеи под ростверк между сваями .....	330

## ЭНЕРГЕТИКА ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### ENERGY TECHNOLOGIES

<b>Тлешова А.С.</b> Широтно-импульсное регулирование резонансных инверторов .....	342
--	-----

## СУ РЕСУРСТАРЫ ЖӘНЕ СУ ПАЙДАЛАНУ

### ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

#### WATER RESOURCES MANAGEMENT

<b>Алимбетова Г.С., Омарова Г.Е., Калтай К., Рысалиева А., Рысмаханов Н.К.</b> Прогноз использования орошаемых территорий бассейна реки Талас для эффективного хозяйственного использования .....	350
<b>Мадимарова А.Б. Иманалиев Т.К., Ермекбай А.Н., Жакашов А.М., Кали Б.С.</b> Анализ нормативно-правовой базы к методике исследования по цифровизации процессов водоучета и водораспределения .....	360

## АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### INFORMATION TECHNOLOGIES

<b>Кудрявцев С.С., Емелин П.В., Козлов В.Н.</b> Анализ баз данных о техногенных чрезвычайных ситуациях в горнодобывающей отрасли .....	371
--	-----

ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

**Рахимберлина А.А., Кудрявцев С.С., Емелин П.В., Курбанов М.Т.**

Суды тазартуды жүзеге асыратын химиялық қауіпті объектідегі  
экологиялық қауіпті бағалау ..... 382

МРНТИ 65.65.03

Н.Б. Даутканов<sup>1</sup> – основной автор, ©  
Ж.К. Усембаева<sup>2</sup>, Д.Р. Даутканова<sup>3</sup>,  
А.Т. Қажымұрат<sup>4</sup>, М.К. Усембаев<sup>5</sup>



<sup>1</sup>Канд. техн. наук, <sup>2,5</sup>Д-р. техн. наук, профессор, <sup>3</sup>Д-р техн. наук, <sup>4</sup>PhD

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-7864-0217> <sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0005-8689-4061>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-9766-9039> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-5359-5528>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0005-1270-1706>



<sup>1,2,3,4</sup>Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и  
пищевой промышленности, г. Алматы, Казахстан



<sup>5</sup>АО «Ақсу қант»,

с. Жансугуров, Акусский район, Жетысу область, Казахстан

@

<sup>1</sup>[ndautkhanov@yandex.ru](mailto:ndautkhanov@yandex.ru)

<https://doi.org/10.55956/PMGM3862>

## ПРОИЗВОДСТВО И ПЕРЕРАБОТКИ СОИ В РК

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования производства соевых бобов в мире и Казахстане. Среднегодовая рекомендуемая норма потребления бобовых культур составляет 3-3,3 кг на человека в год, данный показатель можно назвать индикатором для формирования соответствующей аграрной и промышленной программы развития. Казахстанские потребители продуктов питания уделяют повышенное внимание наличию ГМО продуктов, соя наиболее подвержена генной коррекции (для повышения урожайности и устойчивости к болезням). Поскольку даже следовые количества ГМО сырья влияют на весь объем товарной продукции в образцах соевого шрота, полученных от отечественных производителей соевого масла были проведены исследования на предмет наличия генетически модифицированных организмов. Для определения генетически модифицированных организмов в соевом шроте использован метод полимеразной цепной реакции. Тест на полимеразную цепную реакцию успешно выявляет даже следовые количества ГМО сырья и продуктов. В исследованных образцах был обнаружено присутствие ГМО. Для производства чистого изолята соевого белка и его производных требуется собственная замкнутая экосистема, включающая семеноводство, товарное производство бобов, глубокую переработку сои, хранение и транспортировку.

**Ключевые слова:** соя, производство, валовый сбор, соевый белок, ГМО.



Даутканов, Н.Б. Производство и переработки сои в РК [Текст] / Н.Б. Даутканов, Ж.К. Усембаева, Д.Р. Даутканова, А.Т. Қажымұрат, М.К. Усембаев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.9-17.  
<https://doi.org/10.55956/PMGM3862>

**Введение.** Соевые бобы появились в Юго-Восточной Азии и были впервые одомашнены китайскими фермерами около 1100 г. до н. э. К I веку н. э. соевые бобы выращивали в Японии и многих других странах [1].

Соя (*Glycine max*) является одной из важнейших мировых культур и выращивается для получения масла и белка. Текущее мировое производство составляет около 176,6 млн тонн бобов на 75,5 млн га. Культура в основном

выращивается в богарных условиях, но все чаще используется особенно дополнительное орошение [2]. Урожай выращивают в теплых условиях в тропиках, субтропиках и умеренном климате. Соя относительно устойчива к низким и очень высоким температурам, но темпы роста снижаются выше 35°C и ниже 18°C [2].

Значимость растительных белков не нуждается в объяснении алиментарных и физиологических аспектах питания людей и кормления животных. Как структурный и энергетический элемент основы клеток и метаболизма организмов млекопитающих, а также пойкилотермных организмов, растительные протеины восполняют и зачастую замещают аналоги животного происхождения.

На фоне растущей численности населения планеты эксперты ООН подсчитали, что в 2022 году в мире страдали от недоедания около 735,1 млн человек [3].

Lianjun Sun из колледжа агрономии и биотехнологии, Китайского сельскохозяйственного университета (Пекин, Китай) отметил, что семена как основная цель для селекции являются весьма важным источником пищи. Морфология семян играет важную роль в предоставлении критической информации по систематике и может быть использована для идентификации видов. Благодаря исследованиям морфологии семян мы можем глубже понять физиологию семян, одомашнивание семян и влияние окружающей среды [4].

Важность исследований в области генетики и селекции описана в работе Fitrya Ningsih из Tanjungpura University (Понтианак, Индонезия), которая обратила внимание на генотипические особенности соевых бобов, сообщив, что производство сои может быть увеличено за счет сборки новых превосходных сортов. При сборке генов растений необходимо сначала обнаружить характеристики родителей. Один из способов выяснить эти характеристики – провести морфологическое исследование [5].

Аналитики Imarcgroup рассчитали объем мирового рынка соевых продуктов питания достиг 49,4 млрд долларов США в 2023 году. По прогнозам IMARC Group, к 2032 году объем рынка достигнет 72,2 млрд долларов США, а среднегодовой темп роста (CAGR) составит 4,2% в период 2024-2032 годов [6].

Эксперты из Grand View Research в своих исследованиях публикуют следующее: Объем мирового рынка сои оценивается в 193,10 млрд долларов США в 2023 году и, как ожидается, будет расти с годовым темпом прироста (CAGR) 4,4% в 2024-2030 годах. Соевые бобы известны своей пользой для здоровья, в том числе тем, что являются хорошим источником белка, клетчатки, витаминов и минералов. Растущая осведомленность потребителей об этих преимуществах стимулирует спрос, особенно на такие продукты, как соевое молоко, тофу и белковые добавки. Более того, наблюдается растущая тенденция к вегетарианскому и веганскому питанию, а также общее увеличение потребления растительных белков среди всеядных. Соя, универсальная и высокобелковая бобовая культура, является жизненно важным компонентом многих растительных диет [7].

Глобальный сектор сои пережил быстрый рост за последние 5 десятилетий и сейчас оценивается в 155 млрд долларов США. По прогнозам, к 2031 году он достигнет 278 млрд долларов США. Менее 3% соевых бобов производится в соответствии со стандартами устойчивого развития, однако сохраняющийся медленный рост производства, соответствующего стандартам, по-видимому, ускорится. Производители органической сои в

основных странах-экспортерах могли получить в 2017 году цены на 64% выше, чем те, кто продавал обычную генетически модифицированную сою [8].

На рисунке 1 представлены данные валового сбора и доли рынка топ-10 стран-лидеров производителей соевых бобов. Визуализация информационных данных отражает факт, что основные страны-лидеры находятся в экваториальной близости, за исключением России, Канады, Украины. Однако регионы выращивания соевых бобов в этих условно «северных» странах концентрированы в мягких климатических зонах с достаточными водными ресурсами.

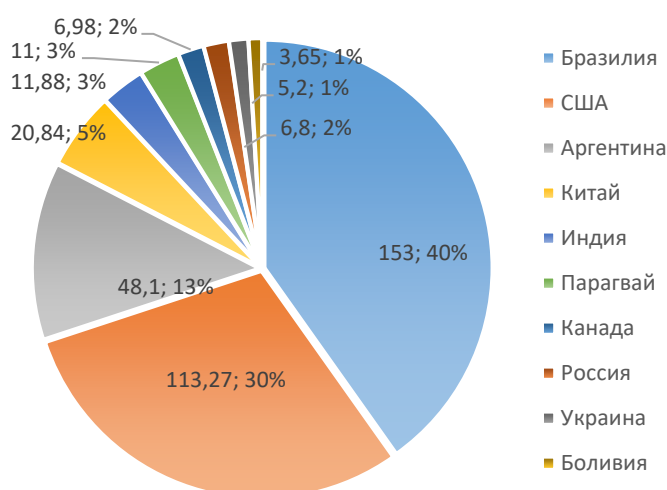


Рис 1. Топ-10 стран-производителей сои, млн тонн, доля % [9]

Данные с рисунка 1 отражают доминирование на мировом рынке трех стран (Бразилия, США, Аргентина), на долю которых приходится 83% мирового валового сбора сои. Однако в таблице 1 ниже, гистограммами представлен подушевой объем производства соевых бобов в этих странах. Здесь видно, что все страны из лидирующей десятки, представленные Южной Америкой, имеют обеспеченность соевыми бобами на человека свыше 500 кг в год, особенно выделяются Парагвай и Аргентина с показателями в 1236 и 1207 кг на человека в год.

Учитывая, что среднегодовая рекомендуемая норма потребления бобовых культур составляет 3-3,3 кг на человека в год [10,11], данный показатель можно назвать индикатором для формирования соответствующей аграрной и промышленной программы развития, который также служит показателем экспортного потенциала соевых бобов.

Указанные в таблице 1 рекомендуемые цифры среднегодового потребления бобов в России и США (3 и 3,3 кг соответственно) являются научно обоснованными пищевыми нормами, позиция Казахстана и других стран в данной таблице отражает общий валовой сбор на человека. Так как соя и продукты ее переработки используются в основном в животноводстве, птицеводстве и масложировой отрасли, то данный индикатор может характеризовать состояние (сырьевую обеспеченность), потенциал отечественных отраслей и импортозависимость.

Таблица 1

## Подушевое производство соевых бобов

рейтинг	страна	кол-во тыс. тонн	население	тонн на человека
1.	Brazil	114 300 000	216 605 837	0,528
2.	United States	96 800 000	341 731 670	0,283
3.	Argentina	55 300 000	45 816 224	1,207
4.	China	15 700 000	1 425 618 738	0,011
5.	India	13 300 000	1 430 579 539	0,009
6.	Paraguay	8 500 000	6 874 322	1,236
7.	Canada	6 000 000	38 829 631	0,155
8.	Russia	4 400 000	143 979 164	0,031
9.	Ukraine	3 700 000	36 944 328	0,100
10.	Bolivia	3 000 000	12 414 981	0,242
11.	Uruguay	2 800 000	3 423 149	0,818
12.	South Africa	1 200 000	60 495 373	0,020
13.	Italy	1 000 000	58 845 692	0,017
14.	Indonesia	940 000	277 988 000	0,003
15.	Serbia	700 500	7 139 594	0,098
16.	Nigeria	630 000	228 906 678	0,003
17.	Romania	440 100	19 844 631	0,022
18.	France	428 500	64 775 470	0,007
19.	Kazakhstan	282 200	20 000 000	0,014

Для Казахстана отход от монокультуры (пшеницы) способствует расширению посевных площадей под бобовые культуры. Урожай данных культур в 2023 году составил около 300 тыс. тонн, урожайность достигла 11,2 ц/га. Валовой сбор чечевицы составил 145 тыс. тонн, нута – 8,5 тыс. тонн, гороха – 150 тыс. тонн [12].

Что касается производства бобовых культур в Казахстане, на рисунке 2 представлена диаграмма валового сбора данных культур в прошедшем маркетинговом году.

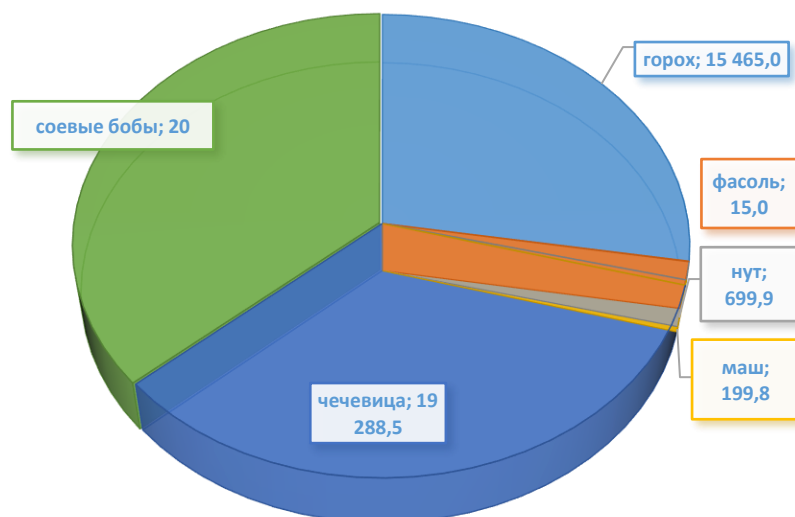


Рис. 2. Структура валового сбора бобовых Казахстана в 2023 году, тонн [13]

Соевый сегмент в структуре посевных бобовых культур является крупнейшим и имеет предпосылки к регулярному росту, так как этому способствует востребованность потребительского рынка, и пищевого и кормового. Динамическое развитие животноводства и птицеводства стимулирует производство кормового шрота, а демографические тенденции роста населения Казахстана и стран Центральной Азии способствуют увеличению рынка пищевых деривативов переработки соевых бобов, таких как изоляты соевого белка.

Следует отметить, что увеличение соевого клина в структуре посевных вызвано в том числе и особенностями данной культуры как наилучшего предшественника в растениеводстве так как после сои почва насыщается азотом.

**Условия и методы исследования.** Были использованы традиционные теоретические и эмпирические методы исследований. Для определения генетически модифицированных организмов в соевом шроте был использован метод ПЦР (полимеразной цепной реакции) в соответствии с методикой «Продукты пищевые. Метод анализа для обнаружения генетически модифицированных организмов и производных продуктов. Методы качественного обнаружения на основе анализа нуклеиновых кислот». Тест на полимеразную цепную реакцию успешно выявляет даже следовые количества ГМО-сырья и продуктов.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Были проведены исследования на предмет наличия генетически модифицированных организмов в образцах соевого шрота, полученных методом экстракции от отечественных производителей соевого масла. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты ПЦР теста образцов соевого шрота

Номер образца	Наименование поставщика соевого шрота	Результат
1	ТОО «Уыз Май Industry»	обнаружено
2	ТОО «Саркан Май»	обнаружено
3	ТОО «Жетысу соя»	обнаружено

Результаты исследования генетически модифицированных организмов в соевом шроте методом ПЦР показали наличие генетически модифицированных организмов во всех образцах отечественного соевого шрота, что свидетельствует об использовании ГМО-сои в производстве соевого масла на предприятиях ТОО «Уыз Май Industry», ТОО «Саркан Май» и ТОО «Жетысу соя».

Казахстанские потребители продуктов питания уделяют повышенное внимание наличию ГМО-продуктов и соя для повышения урожайности и устойчивости к болезням наиболее подвержена генетической модификации.

Для производства изолята соевого белка – ключевого ингредиента пищевой промышленности присутствие ГМО является критическим фактором чистоты деривативов.

Так в нормативных документах указано, что для производства продуктов типа смеси на основе изолята соевого белка для питания детей первого года жизни применяют изолят соевого белка полученный из генетически не модифицированных соевых белков.

В основном через соевое и кукурузное сырье продукты питания контактируют с генной технологией, не будучи при этом генетически модифицированными. Масло в маргарине, лецитин в шоколаде, печенье или мороженом, белки и витамины могут происходить из сои. Ежегодно страны ЕС импортируют около 35 миллионов тонн соевого сырья из Бразилии, США и Аргентины. Китай. Япония и другие азиатские страны также закупают свою сою в этих странах, где генно-модифицированные сорта выращиваются на 95% земель, используемых для выращивания бобов [14].

Технология производства изолята соевого белка имеет замкнутую необратимую систему, поэтому чередование «чистого» и ГМО-зараженного сырья на одной линии категорически не рекомендуется, так как даже следовые количества такого сырья заражают весь объем товарной продукции.

Этот факт требует использования в производстве соевых белков исключительно не ГМО-сырья.

**Заключение.** Для производства чистого изолята соевого белка и его производных необходима собственная замкнутая система, охватывающая все этапы – от семеноводства и товарного производства бобов до глубокой переработки сои, хранения и транспортировки.

В этой связи отечественным производителям соевого шрота для целей его реализации в производство соевых белков для пищевой индустрии и медицинских целей требуется пересмотреть подходы и рынки сырья.

#### Список литературы

1. History of Soybeans. And Soy it Begins... [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ncsoy.org/media-resources/history-of-soybeans/>. Дата обращения: 12.09.2024.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Soybean [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/soybean/en/>. Дата обращения: 12.09.2024.
3. Более 735 миллионов человек в мире страдают от нехватки еды. 5 июня 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energyprom.kz/articles-ru/society-ru/bolee-735-millionov-chelovek-v-mire-stradayut-ot-nehvatki-edy/>. Дата обращения: 12.09.2024.
4. Sun L., Yuan Zh. Chapter Eleven – Seed morphology of soybean // *Advances in Botanical Research*. – 2022. – Vol. 102. – P. 349-375.
5. Ningsih F., Zubaidah S., Kuswantoro H. Diverse Morphological Characteristics of Soybean (*Glycine max* L. Merrill) Pods and Seeds Germplasm // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 276, № 1. – P. 012014.
6. Soy Food Market Report by Product Type, Category, Distribution Channel, End-Use, and Region 2024-2032 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.imarcgroup.com/soy-food-market>. Дата обращения: 12.09.2024.
7. Soybean Market Size, Share & Trends Analysis Report By Nature (GMO, Non-GMO), By Form (Raw, Processed), By End-use (Animal Feed, Industrial Use), By Region, And Segment Forecasts, 2024-2030 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/soybean-market-report>. Дата обращения: 12.09.2024.
8. Voora V., Bermúdez S., Le H., Larrea C., Luna E. Global Market Report: Soybean prices and sustainability // *Global Market Report*, February 28, 2024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iisd.org/publications/report/2024-global-market-report-soybean>. Дата обращения: 12.09.2024.
9. Production – Soybeans [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>. Дата обращения: 12.09.2024.

10. Рациональные нормы потребления пищевых продуктов. Министерство здравоохранения РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minzdrav.gov.ru/opendata/7707778246-normpotrebproduct/visual>. Дата обращения: 12.09.2024.
11. Patterns of Legume Purchases and Consumption in the United States // *Frontiers in Nutrition. Section: Nutrition and Sustainable Diets*. – 2021. – Vol. 8.
12. Аграрии могут сильно сократить посев пшеницы в 2024 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ark-news.kz/statyi/item-1925>. Дата обращения: 12.09.2024.
13. Валовый сбор сельскохозяйственных культур в Республике Казахстан за 2023 год. Агентство по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Бюро национальной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/publications/5099/>. Дата обращения: 12.09.2024.
14. Renneberg R., Loroach V. *Green Biotechnology // Biotechnology for Beginners / 2nd ed.* – 2017.

*Исследования выполнены в рамках проекта BR22883587 «Совершенствование и разработка наукоемких технологий глубокой переработки сельскохозяйственного сырья для укрепления продовольственной безопасности РК», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 12.01.25, принят 05.07.25.*

**Н.Б. Даутканов<sup>1</sup>, Ж.К. Усембаева<sup>1</sup>,  
Д.Р. Даутканова<sup>1</sup>, А.Т. Қажымұрат<sup>1</sup>, М.К. Усембаев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Қазақ қайта өңдеу және тамақ өнеркәсібі ҒЗИ, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>«Ақсу Кант» АҚ, Жансүгіров ауылы, Ақсу ауданы, Жетісу облысы, Қазақстан

#### **ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ СОЯ БҰРШАҒЫН ӨНДІРУ ЖӘНЕ ӨНДЕУ**

**Аңдатпа.** Мақалада дүние жүзіндегі және Қазақстандағы соя өндірісі бойынша жүргізілген зерттеу нәтижелері берілген. Бразилия, АҚШ және Аргентина жетекші 10 соя өндіруші елдерінің жалпы кірісі мен нарықтық үлесі туралы деректер әлемдегі жалпы соя түсімінің 40, 30 және 13% алады. Бұршақ дақылдарын тұтынудың орташа жылдық ұсынылатын нормасы жылына бір адамға 3-3,3 кг құрайды, бұл көрсеткішті ауыл шаруашылығы мен өнеркәсіпті дамытудың тиісті бағдарламасын қалыптастырудың көрсеткіші деп атауға болады, сондай-ақ сояның экспорттық әлеуетін көрсетеді. Қазақстандық азық-түлік тұтынушылары ГМО өнімдерінің болуына көбірек көңіл бөледі (шығымдылық пен ауруға төзімділікті арттыру үшін). Отандық соя майын өндірушілерден алынған соя ұнының үлгілеріндегі ГМО шикізатының тіпті іздік мөлшері де коммерциялық өнімдердің бүкіл көлеміне әсер ететіндіктен, генетикалық түрлендірілген ағзалардың болуын анықтау үшін зерттеулер жүргізілді. Соя ұнындағы генетикалық түрлендірілген ағзаларды анықтау үшін полимеразды тізбекті реакция әдісі қолданылды. Полимеразды тізбекті реакция сынағы ГМО шикізаты мен өнімдерінің тіпті іздерін де сәтті анықтайды. Зерттелген үлгілерде ГМО бар екені анықталды. Таза соя протеинінің изолятын және оның туындыларын өндіру тұқым шаруашылығынан өзіндік жабық экожүйені қажет етеді – бұршақты тауарлық өндіру – сояны терең өңдеу – сақтау – тасымалдау.

**Тірек сөздер:** соя, өндіріс, жалпы өнім, соя протеині, ГМ-ағзалар.

N. Dautkanov<sup>1</sup>, Zh. Usembaeva<sup>1</sup>, D. Dautkanova<sup>1</sup>, A. Kazhymurat<sup>1</sup>, M.K. Usembaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>JSC "Aksu Kant", Zhansugurov village, Aksu District, Zhetysu Region, Kazakhstan

### PRODUCTION AND PROCESSING OF SOYBEANS IN KAZAKHSTAN

**Abstract.** The article presents the results of a study on the production of soybeans in the world and Kazakhstan. Data on the gross harvest and market share of the top 10 countries leading in the production of soybeans – Brazil, the USA and Argentina – account for 40, 30 and 13% of the world's gross soybean harvest. The average annual recommended consumption rate of legumes is 3-3.3 kg per person per year, this figure can be called an indicator for the formation of an appropriate agricultural and industrial development program, and is also an export potential for soybeans. Kazakhstani food consumers pay increased attention to the presence of GMO products, soybeans are most susceptible to gene correction (to increase productivity and disease resistance). Since even trace amounts of GMO raw materials affect the entire volume of commercial products in soybean meal samples obtained from domestic soybean oil producers, studies were conducted to determine the presence of genetically modified organisms. The polymerase chain reaction method was used to determine genetically modified organisms in soybean meal. The polymerase chain reaction test successfully detects even trace amounts of GMO raw materials and products. The presence of GMO was detected in the samples studied. The production of pure soy protein isolate and its derivatives requires its own closed ecosystem from seed production – commercial production of beans – deep processing of soybeans – storage – transportation.

**Keywords:** soybeans, production, gross yield, soy protein, GMO.

#### References

1. History of Soybeans. And Soy it Begins... [Electronic resource]. – Access mode: <https://ncsoy.org/media-resources/history-of-soybeans/>. Date of access: 12.09.2024.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Soybean [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/soybean/en/>. Date of access: 12.09.2024.
3. More than 735 million people worldwide suffer from food shortages. June 5, 2024 [Electronic resource]. – Access mode: <https://energyprom.kz/articles-ru/society-ru/bole-735-millionov-chelovek-v-mire-stradayut-ot-nehvatki-edy/>. Date of access: 12.09.2024. [in Russian].
4. Sun L., Yuan Zh. Chapter Eleven – Seed morphology of soybean // *Advances in Botanical Research*. – 2022. – Vol. 102. – P. 349-375.
5. Ningsih F., Zubaidah S., Kuswanto H. Diverse Morphological Characteristics of Soybean (*Glycine max* L. Merrill) Pods and Seeds Germplasm // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2019. – Vol. 276, № 1. – P. 012014.
6. Soy Food Market Report by Product Type, Category, Distribution Channel, End-Use, and Region 2024-2032 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.imarcgroup.com/soy-food-market>. Date of access: 12.09.2024.
7. Soybean Market Size, Share & Trends Analysis Report By Nature (GMO, Non-GMO), By Form (Raw, Processed), By End-use (Animal Feed, Industrial Use), By Region, And Segment Forecasts, 2024-2030 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/soybean-market-report>. Date of access: 12.09.2024.
8. Voora V., Bermúdez S., Le H., Larrea C., Luna E. Global Market Report: Soybean prices and sustainability // *Global Market Report*, February 28, 2024 [Electronic

- resource]. – Access mode: <https://www.iisd.org/publications/report/2024-global-market-report-soybean>. Date of access: 12.09.2024.
9. Production – Soybeans [Electronic resource]. – Access mode: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>. Date of access: 12.09.2024.
  10. Rational Standards of Food Consumption. Ministry of Health of the Russian Federation [Electronic resource]. – Access mode: <https://minzdrav.gov.ru/opendata/7707778246-normpotrebproduct/visual>. Date of access: 12.09.2024. [in Russian].
  11. Patterns of Legume Purchases and Consumption in the United States // Frontiers in Nutrition. Section: Nutrition and Sustainable Diets. – 2021. – Vol. 8.
  12. Farmers may significantly reduce wheat sowing in 2024 [Electronic resource]. – Access mode: <https://apk-news.kz/statyi/item-1925>. Date of access: 12.09.2024. [in Russian].
  13. Gross Harvest of Agricultural Crops in the Republic of Kazakhstan for 2023. Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. Bureau of National Statistics [Electronic resource]. – Access mode: <https://stat.gov.kz/ru/industries/business-statistics/stat-forrest-village-hunt-fish/publications/5099/>. Date of access: 12.09.2024. [in Russian].
  14. Renneberg R., Lorocho V. Green Biotechnology // Biotechnology for Beginners / 2nd ed. – 2017.

FTAMP 65.63.33

Б.М. Хамитова<sup>1</sup> – негізгі автор, | ©  
М.Ә. Тұрлыбек<sup>2</sup>, И.Р. Садырбаева<sup>3</sup>



<sup>1</sup>Техн. ғылым. канд., қауымдас. профессор, <sup>2</sup>Докторант,  
<sup>3</sup>Аға оқытушы, магистр

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-8377-3938> <sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0002-4069-6308>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0007-7020-3435>



<sup>1,2,3</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,



Шымкент қ., Қазақстан



<sup>1</sup>[barno-007@mail.ru](mailto:barno-007@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/EGFB2436>

## ФУНКЦИОНАЛДЫ ИНГРЕДИЕНТТЕРІ ҚОСЫЛҒАН СҮТ ТҰЗДЫҒЫНЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ОРГАНОЛЕПТИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН БАҒАЛАУ

**Аңдатпа.** Бұл мақалада сүт тұздығына қолданылатын көкөністерге физика-химиялық талдаулар келтірілген. Функционалды ингредиенттері қосылған сүт тұздығына органолептикалық және физика-химиялық зерттеулер жүргізілді. Көкөніс дақылдарын, атап айтқанда пастернак пюресін сүт өнімдерінің технологиясында қолдану өте өзекті болып келеді. Көкөністердің құрамына кіретін қоректік заттардың, физиологиялық белсенді заттардың кең спектрі оларды функционалды мақсаттағы өнімдерді жасау үшін шикізат ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Функционалды ингредиенттердің қосылуымен дайын өнімнің құрылымдық-реологиялық, органолептикалық қасиеттері жақсарады, тағамдық және биологиялық құндылығы артады. Қоспаның оңтайлы дозасы 10% құрайды. Тұздықтың технологиясы да жасалды, оның құрамына сүзбе сарысуы кіреді, бұл оның биологиялық құндылығын арттырады.

**Тірек сөздер:** функционалды ингредиенттер, сүт тұздығы, биологиялық белсенді заттар, диеталық қасиеттері, өсімдік қоспалары, сүзбе сарысуы.



Хамитова, Б.М. Функционалды ингредиенттері қосылған сүт тұздығының физика-химиялық және органолептикалық көрсеткіштерін бағалау [Мәтін] / Б.М. Хамитова, М.Ә. Тұрлыбек, И.Р. Садырбаева // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.18-26. <https://doi.org/10.55956/EGFB2436>

**Кіріспе.** Өндірілген және импортталатын азық-түлік өнімдерінің қазіргі қазақстандық нарығы соңғы онжылдықта күрт өзгерді және әртүрлі ассортиментімен, шығу тегімен, химиялық құрамымен, тағамдық құндылығымен, орау түрімен, өнімдердің функционалды мақсатымен ғана емес, сонымен қатар оларды сақтау мерзімімен де ерекшеленеді [1].

Агроөнеркәсіп кешенінің маңызды міндеттерінің бірі өсімдік шикізатынан алынған биологиялық белсенді қоспалармен байытылған сүт өнімдерін өндірудің жоғары технологияларын жасау болып табылады [2]. Өнімнің кең ассортиментін сапалы жаңа деңгейге шығаруға мүмкіндік беретін мұндай технологиялардың шикізат базасы қазақстандық сирек кездесетін және «шетелдік» бағалы өсімдіктерді өсіру арқылы үнемі

толықтырылып отыратын отандық флораның байлығы, техникалық және экономикалық негізі – зауыттық шикізатты қайта өңдеу мәселелерін заманауи деңгейде шешуге мүмкіндік беретін жаңа әдістер, құрылғылар мен нормалар [3].

Тамақтанудағы заманауи тенденцияларды талдау және тұздықтардың қолданыстағы ассортименті тағамдық құндылығын арттыру және ассортиментін кеңейту мақсатында өсімдік тектес шикізатты пайдалана отырып, сүт тұздықтарын жасау мүмкіндігін көрсетеді.

2024 жылы тұздықтарды тамақ дайындауда қолданудың танымалдығы жоғары болып қала береді, дәстүрлі және экзотикалық нұсқаларды қоса алғанда, әр түрлі тұздықтарға қызығушылық артады. Бұл аспаздық тенденциялардың көбеюіне, соның ішінде әлемдік тағамдарға, дұрыс тамақтануға және дәмдік тәжірибелерге деген қызығушылықтың артуына байланысты. Сондай-ақ, өз өндірісінің және экологиялық таза өнімдердің, соның ішінде тұздықтардың танымалдылығының артуы байқалады. Адамдар табиғи ингредиенттер мен шынайы дәмді көбірек бағалайды, бұл жоғары сапалы ингредиенттермен өндірілген жергілікті шикізаттан жасалған соустарға сұраныстың артуына ықпал етеді [4].

Тұздықтар қазіргі заманғы адамның тамақтануында үлкен рөл атқарады. Олар тағамның дәмін айтарлықтай жақсартады, жаңа консистенциялар мен дәмдерді қосады және тағамдарды байытады. Тұздықтар бүкіл әлемде классикалық француз соустарынан бастап азиялық және латын американдық вариацияларға дейін әртүрлі тағамдарда қолданылады [5].

Ашыған сүт өнімдерінің калориялық құрамы, құрамы, тағамдық құндылығы және биологиялық құндылығы өнімнің нақты түріне, оның майлылығына, дайындау технологиясына байланысты өзгереді [6].

Қазіргі уақытта ғылыми негізделген құрамы және адам ағзасына бағытталған әсері бар функционалды өнімдердің кең ауқымы белгілі. Алайда, қоғамдық тамақтандыруға арналған аспаздық өнімдердің, оның ішінде адамның күнделікті рационының ажырамас бөлігі болып табылатын тұздықтардың жаңа рецептері мен технологиясын әзірлеуге жеткілікті көңіл бөлінбейді [7]. Негізінен тұздықтар сорпаларды, майонезді, томат пюресін және дайын тағамның химиялық құрамы мен органолептикалық сипаттамаларын жақсартады, сонымен қатар тағамның жақсы қорытылуына ықпал етеді. Мұндай аспаздық өнімдер жоғары энергетикалық құндылыққа ие, дененің қалыпты дамуына қажетті микроэлементтерді қамтымайды, сондықтан тағамның пайдалы құрамдас бөлігі болып табылмайды.

Халықтың тамақтануындағы қажетті қоректік заттардың тапшылығын жоюдың және әртүрлі аурулардың алдын алудың ең қолжетімді және кеңінен қолданылатын жолы – функционалды өнімдердің ассортиментін кеңейту. Азық-түлік өнімдерінің химиялық құрамын мақсатты түзету үшін функционалды шикізаттың жаңа түрлерін пайдалану жоғары сапалы, бәсекеге қабілетті өнімдерді қамтамасыз ететін жаңа технологиялық шешімдерді қажет етеді [8]. Адамның күнделікті рационына радиопротекторлық, антиоксиданттық және иммуномодуляциялық қасиеттері бар биологиялық белсенді компоненттердің кең ауқымы (дәрумендер, минералдар, тағамдық талшықтар, полиқаньқпаған май қышқылдары) бар тұздықтарды қосқан жөн. Осыны ескере отырып, майлы құрамдас бөліктермен біріктірілген көкөніс және өсімдік шикізаты негізінде антиоксиданттық белсенділігі жоғары тұздықтардың жаңа рецептері мен

технологиясын әзірлеу және қоюландырғыш ретінде пектинді қолдану өзекті болып табылады [9].

Зерттеу жұмысының мақсаты биологиялық құндылығы жоғары екіншілік сүт шикізатын пайдалана отырып, биологиялық белсенді заттармен байытылған тұздықтардың ассортиментін кеңейту болып табылады.

Ғылыми жұмыста өсімдік қоспаларын зерттелініп және оларды функционалдық мақсатта қолдану, сонымен қатар тұздықтар технологиясы әзірленді. Тұздықтарды дайындауда қайталама сүт шикізаты - сарысу, функционалдық ингредиенттер - өсімдік қоспалары қолданылынды.

Екіншілік сүт шикізатының әртүрлі түрлерінің ішінде сарысу ерекше орын алады - сүзбе, ірімшік және казеин өндіру кезінде алынатын жанама өнім. Ірімшік пен сүзбе өндірісінің сарысуының ресурстары орасан зор күйінде қалып отыр, ал негізгі өнімдерді өндірудің шамалы төмендеуі сарысуды өңдеу мәселесін шешпейді.

Сүзбе сарысуы сүт қышқылының жоғары мөлшерімен сипатталады, бұл ақуыз коагуляциясының қышқылдық әдісіне байланысты, онда сүт қышқылы сүзбе өндіру кезінде сүтке енгізілген стартердің өмірлік белсенділігі нәтижесінде лактозадан түзіледі. Сүзбе өндіру кезінде белоктың гидролизі неғұрлым қарқынды жүретіндіктен, сүзбе сарысуында бос амин қышқылдары 3,5 есе және алмастырылмайтын бос аминқышқылдары жеті есе көп. Сүт сарысуында глюкоза мен галактозадан тұратын моносахаридтер бар [10].

Өнімнің тағамдық құндылығын арттыратын өсімдік тектес тағамдық қоспаны қосу арқылы тұздықты байытуға бағытталған ғылыми жұмыста тағамдық қоспа ретінде көкөніс дақылдары және сүзбе сарысуы қолданылып отыр.

Көкөніс дақылдарын, атап айтқанда, пастернак пюресін сүт өнімдерінің дәстүрлі және жаңа түрлерін өндіру технологиясында пайдаланудың болашағы зор. Көкөністердің құрамына кіретін қоректік заттардың, физиологиялық белсенді заттардың кең ауқымы [11] оларды функционалды өнім жасау үшін шикізат ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Пастернак өсімдігін, атап айтқанда, қант диабетімен ауыратын адамдардың диетасына қосуға болады. Қант диабетімен ауыратын науқастар рационында күрделі көмірсулар мен талшықтарға, қант пен майға бай диетаны қолдану ұсынылады.

Пастернак (ақ сәбіз) – балдыркөк тұқымдасына жататын қалың, тәтті тамырлы дақыл. Пастернак анальгетиктер, бактерицидтік, седативті және күшті диуретикалық әсері бар диеталық өнім. Көкөніс шырыны кремнийге, хлорға, калийге, фосфорға, күкіртке бай – пневмония, бронхит, туберкулез, эмфиземамен ауыратын науқастарға пайдалы тағам. Тамыр дақылдары тек емдік мақсатта ғана емес, сонымен қатар тамақ дайындауда да қолданылады. Кептірілген ақжелкен ұнтаққа ұнтақталып, дәмдеуіштерге қосылады. Бұл консервілердің міндетті ингредиенті. Ащы шөптер көкөніс тағамдарын, сорпа қоспаларын хош иістендіру үшін қолданылады [12].

Пастернак өсімдігінің майлы тамыры-қоректік заттардың жиынтығы: талшықтар, пектиндік заттар, май және эфир майлары, крахмал, ақуыз, дәрумендер, минералдар, сахаридтер. Биологиялық белсенді заттардың бүкіл Достастығы сәбіздің туысына ревматизмге қарсы, антиоксидантты және диуретикалық қасиеттер береді. Бұл барлық адамдарға, әсіресе жараларды емдеу кезінде, операциядан кейінгі кезеңде, сондай-ақ ауыр аурудан айығу кезеңінде қолдануға ұсынылатын күшті иммуномодуляциялық өнім.

Қаражидек – қаражидек тұқымдасына жататын бұта. Жидектер жаздың ортасынан бастап піседі. Қаражидек ылғалды топырақтағы қылқан жапырақты-жапырақты ормандарда жиі кездеседі. Қаражидек құрамында 18%-ға дейін пирокатехин тобының таниндері, 7%-ға дейін органикалық қышқылдар, соның ішінде лимон, алма, янтар, цинхон, бензой, сүт, қымыздық қышқылдары бар. Қант мөлшері 30%-ға дейін, С витамині – 6 мг/%, каротин – 0,75-1,6 мг/%, В витамині – 0,04%. Тұқымда 31% дейін майлы май, 18% дейін ақуыз бар. Қаражидек жапырақтарында таниндер (18-20%), қант және басқа заттар (12-18%), арбутин (0,47-0,58%), гидрохинон (0,047%), сапониндер (2,2-2,8%), органикалық қышқылдар – галл, бензой бар, лимон, алма, сірке, қымыздық, шарап, сонымен қатар минералдар: калий, натрий, магний, кальций, темір, күкірт, фосфор, хлор. Биологиялық маңызды заттарға гликозидтер – неомиртиллин (2%) жатады, оның аглюконы витаминге ұқсас инозитол заты болып табылады [13].

Өсімдік сығындылары бар сүт қышқылы өнімдері маңызды бола түсуде. Сүт қышқылы микрофлорасы мен сығындылардың биоактивті заттарының үйлесімі функционалды өнімдер спектрін едәуір кеңейтеді. Дәрілік өсімдіктердің сығындыларын сүт қышқылды өнімдерде қолданудың танымалдығы олардың құрамына кіретін биологиялық белсенді заттардың кең спектріне байланысты.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Жұмыста қойылған мәселелерді шешу мақсатында шикізат пен дайын өнімді зерттеу үшін заманауи физика-химиялық және органолептикалық, статистикалық әдістер қолданылды. Шикізатты зерттеу, МЕСТ 33957-2016 «Сарысу және оның негізіндегі сусындар», МЕСТ 34352-2017 «Сүт сарысы – шикізат. Техникалық шарттар» стандарттары негізінде анықталды. Сарысу майының құрамы ISO 2446:2008 «Сүт майының құрамын анықтау», IDT стандарты арқылы анықталды. Тығыздығын анықтау ҚР СТ 1483-2005 «Сүттің құрамы мен тығыздығының маркерлерін анықтаудың сынау әдістері» арқылы нақтыланды.

Тұздықты дайындау технологиясы. Тұздықтарды құрам бөліктерді кезектеп қосу арқылы қарқынды қолмен немесе механикалық құрылғылар көмегімен араластырып дайындалды. Сәбізді, пиязды, ақжелкекті ұсақтап турап, 5-10 мин майда шала қуырады. Сосын пастернак пюресін қосып, барлығын бірге 10-15 мин шала қуырады, осылайша қызыл құрғақ шала қуырма дайындайды. Бидай ұны 150°C температурада 5 минут қуырылды, содан кейін көкөніс қоспалары қосылды. Оны 70-80°C-қа дейін салқындатады, араластыра отырып, біртекті масса алғанша 30°C температурасында сорпа (1:4) құяды. Жидектерді алдын ала дайындады, ол үшін құрғақ жидектерін ажарлап, ұнтақ күйге дейін майдаланды. Ұнтақ тәрізді қаражидектің есептік мөлшерін тұздыққа қосылды. Құрам бөліктер толық ерігенше араластырылған соң, тұздыққа енгізілді. Әрі қарай, барлық компоненттер 90°C температурада 45 минут бойы бірге пісірілді. Пісіру кезінде тұздық тұтқырланады. Пісіру аяқталарға 10-15 мин қалғанда тұздыққа тұз, қант, лавр жапырағын, бұрыш ұнтағын қосымша қосады. Егер тұздық біраз майда шала қуырмада дайындалса, онда оны қажетті қоюлыққа дейін пастерленген ыстық сүт сарысунда сұйылтады. Сарысуды көкөніс пюресінің үлесін азайту арқылы қосты, бұл құрғақ зат құрамының аздап төмендеуіне әкелді.

**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** Жұмыста ТУ 9229 026 00441187-00 бойынша «Фудмастер-Шымкент компаниясы» ЖШС өндіретін өнеркәсіптік сүт сарысуы қолданылды. Сарысудың құрамындағы қант – бұл

сүт қанты. Ол денемізге тез сіңеді. Күнделікті 1 литр сарысуды тұтыну организмнің кальцийге деген тәуліктік қажеттілігінің 2/3 бөлігін, В<sub>2</sub> дәруменінің 80%-ын, В<sub>1</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>12</sub> дәруменінің 1/3 бөлігін, калийдің 40%-ын қанағаттандырады [5]. 1-кестеде сүт сарысуының физикалық-химиялық көрсеткіштері берілген.

Кесте 1

Сүт сарысуларының физикалық-химиялық көрсеткіштері

№	Көрсеткіштер атаулары	Сүзбе сарысуы	Ірімшік сарысуы
1	Қышқылдылығы, °Т	75,0	45,0
2	Майдың массалық үлесі, %	0,22	0,31
3	Тығыздығы, г/см <sup>3</sup>	1019,0	1027,0
4	Құрғақ заттардың массалық үлесі, %	7,17	7,01
5	Ақуыздың массалық үлесі, %	1,11	1,4
6	Белсенді қышқылдық мөлшері, рН	6,14	6,18
7	Температурасы, °С	20	22

Сүт сарысуының құрамында сүттің құрамына кіретін көмірсулар болады. Сүт сарысуында көмірсулардан ең көп мөлшерде лактоза болады. Сүт сарысуы негізінде дайындалған сүт тұздығының дәмі нәзік, құрамында ақуыздар, көмірсулар мен майлар жеңіл сіңімді түрде болады. Көкөніс өсімдік қоспалары қосылған сүт сарысуы негізінде сүт тұздығын дайындау рецептурасы 2-кестеде келтірілген. Бұл жағдайда бастапқы компоненттер дайын өнімнің 1000 грамына келесі мөлшерде граммен алынған.

Кесте 2

Көкөніс өсімдік қоспалары қосылған сүт сарысуы негізінде сүт тұздығын дайындау рецептурасы

Өнімнің аталуы	Брутто	Нетто
Сүт сарысуы	77	77
Аспаздақ май немесе жануар май	20	20
Бидай ұны	50	50
Томат пюресі	100	100
Сәбіз	100	80
Бас пияз	24	20
Қант	15	15
Пастернак пюресі	11	11
Қаражидек ұнтақтары	7	7
Шығымы	-	1000

Көкөніс өсімдік қоспалары қосылған сүт сарысуы негізінде дайындалған сүт тұздығының физика-химиялық және органолептикалық көрсеткіштері 3-кестеде келтірілген.

Көкөніс өсімдік қоспалары қосылған сүт сарысуы негізінде дайындалған сүт тұздығының физика-химиялық және органолептикалық көрсеткіштері бойынша стандартқа сәйкес келді.

Кесте 3

Көкөніс өсімдік қоспалары қосылған сүт сарысуы негізінде дайындалған сүт тұздығының физика-химиялық және органолептикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштері	Нақты мәні
Сыртқы түрі, консистенциясы	Біртекті кремді өнім, анда-санда ауа көпіршіктері бар, аздап созылады
Дәмі мен иісі	Дәмі аздап қышқыл, аздап иісі бар және сарысу дәмі бар
Түсі	Ақ, біркелкі
Белсенді қышқылдық, рН	3,95±0,3
Майдың массалық үлесі, %	15±0,1
Ылғалдың массалық үлесі, %	76,1±0,3
Қышқылдық, сірке қышқылы бойынша %	0,32±0,1
Эмульсия тұрақтылығы, % бұзылмаған эмульсия	100±3
Е витаминінің мөлшері (токоферол ацетаты бойынша Σ токоферол), 100 г/мг	6,7±0,04

**Қорытынды.** Зерттеу нәтижесі – тұздықты тағамдық талшықпен байыту және дайын өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығын арттыру. Тұздықтардың тағамдық құндылығын арттыру өсімдік қоспаларын таңдағанда және максималды пайдалану, пастернак пюресі мен қаражидек ұнтағын пайдалану мүмкіндігін көрсетеді. Пастернак пюресі жоғары энергетикалық құндылыққа ие, бұл тұздықты тағамдық талшықпен, тағамдық және биологиялық құндылығымен байытуға мүмкіндік береді, сонымен қатар оның органолептикалық көрсеткіштерін жақсартады. Жүргізілген зерттеулер отандық тұздықтардың асортиментін кеңейтетін, оларды өндіру технологиясын жеңілдететін, өнімнің өзіндік құнын төмендететін көкөніс тұздықтарын өндіру үшін сарысуды ұсынуға мүмкіндік береді.

**Әдебиеттер тізімі**

1. Намсараева, З.М. Использование функциональных соусов на предприятиях питания [Текст] / З.М. Намсараева, Н.И. Хамнаева // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 11-2. – С. 65-67.
2. Голубева, Л.В. Новые технологии в производстве молока и молочных продуктов [Текст]: монография / Л.В. Голубева, А.Н. Пономарев, О.И. Долматова. – Воронеж: ВГУИТ, 2012. – 112 с.
3. Голубева, Л.В. Новые молокосодержащие и молочные составные продукты [Текст] / Л.В. Голубева, О.И. Долматова // Пищевые продукты и здоровье человека: материалы Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Кемерово, 2012. – С. 122-124.
4. Хамитова, Б.М. Өсімдік негізіндегі сусындар – сүт өнеркәсібі үшін жаңа міндет [Текст] / Б.М. Хамитова, А. Бақтыбайқызы // Ғылым мен жастар – табысты болашақтың сенімді кепілі: XXV республикалық студ. ғыл. конф. еңбектері. – Шымкент: ОҚУ, 2022. – Б. 23-25.
5. Родионов, Ю.В. Технология переработки пастернака, тыквы и яблок в порошки для функционального питания [Текст] / Ю.В. Родионов, Д.И. Никитин, С.И. Данилин, М.А. Митрохин, М.В. Утешев [и др.] // Проблемы развития АПК региона. – 2018. – № 3 (35). – С. 214-220.
6. Гаврилова, Н.Б. Современные технологии комбинированных продуктов на молочной основе для специального питания: аналитический обзор [Текст] / Н.Б. Гаврилова, О.В. Пасько. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2013. – 110 с.

7. Твердохлеб, Г.В. Технология молока и молочных продуктов [Текст] / Г.В. Твердохлеб, Г.Ю. Сажинов, Р.И. Раманаускас. – М.: ДеЛи Принт, 2014. – 616 с.
8. Крусъ, Г.Н. Технология молока и молочных продуктов [Текст] / Г.Н. Крусъ, А.Г. Храмцов, Э.В. Волокитина, С.В. Карпычев / под ред. А. М. Шалыгиной. – М.: Колос, 2016. – 455 с.
9. Шишков, Ю.И. Некоторые аспекты продуктов функционального питания [Текст] // Пищевая промышленность / Ю.И. Шишков. – 2014. – № 1. – С. 10-11.
10. Жучков, А.А. Разработка и оценка потребительских свойств плодовоовощных соусов с функциональными добавками [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Жучков. – 2014. – 47 с.
11. Неповинных, Н.В. Расширение ассортимента продуктов на основе молочной сыворотки диетического профилактического питания [Текст] // Вестник Международной академии холода / Н.В. Неповинных. – 2017. – № 2. – С. 26-30.
12. Антипова, Л.В. Применение ферментных препаратов в технологии соусов [Текст] // Успехи современного естествознания / Л.В. Антипова, Ю.Н. Подвигина. – 2017. – № 10. – С. 82.
13. Тихонов, В.Н. Лекарственные растения, сырье и фитопрепараты [Текст]: учеб. пособие / В.Н. Тихонов, Г.И. Калинин, Е.Н. Сальникова / под ред. проф. Дмитрука С.Е. – Томск, 2013. – 116 с.

Материал редакцияға 16.01.25 түсті, 10.06.25 қабылданды.

**Б.М. Хамитова<sup>1</sup>, М.Ә. Тұрлыбек<sup>1</sup>, И.Р. Садырбаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

#### **ОЦЕНКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛОЧНОГО СОУСА С ДОБАВЛЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ**

**Аннотация.** В данной статье приведены физико-химические анализы овощей, используемых в молочном соусе. Проведены органолептические и физико-химические исследования молочного соуса с добавлением функциональных ингредиентов. Использование овощных культур, в частности пюре пастернака, в технологии традиционных и новых видов молочных продуктов, представляется весьма перспективным. Широкий спектр нутриентов, физиологически активных веществ, входящих в состав овощей, позволяет рассматривать их как сырье для создания продуктов функционального назначения. С добавлением функциональных ингредиентов улучшаются структурно-реологические, органолептические свойства готового продукта, повышается пищевая и биологическая ценность. Оптимальная дозировка добавки составила 10%. Также разработана технология соуса в состав которого входит творожная сыворотка, что повышает его биологическую ценность.

**Ключевые слова:** функциональные ингредиенты, молочные соусы, биологически активные вещества, диетические свойства, растительные добавки, творожная сыворотка.

B.M. Khamitova<sup>1</sup>, M. Turlibek<sup>1</sup>, I.R. Sadyrbaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

#### EVALUATION OF PHYSICOCHEMICAL AND ORGANOLEPTIC CHARACTERISTICS OF MILK SAUCE WITH THE ADDITION OF FUNCTIONAL INGREDIENTS

**Abstract.** This article presents physicochemical analyses of vegetables used in milk sauce. Organoleptic and physicochemical studies were conducted on milk sauce with the addition of functional ingredients. The use of vegetable crops, in particular parsnip puree, in the technology of traditional and new types of dairy products appears to be highly promising. The wide range of nutrients and physiologically active substances contained in vegetables makes it possible to consider them as raw materials for the development of functional food products. The addition of functional ingredients improves the structural-rheological and organoleptic properties of the final product, as well as enhances its nutritional and biological value. The optimal dosage of the additive was 10%. The technology of the sauce, which includes curd whey, has also been developed, which increases its biological value.

**Keywords:** functional ingredients, milk sauces, biologically active substances, dietary properties, herbal supplements, curd whey.

#### References

1. Namsaraeva Z.M., Khamnaeva N.I. Ispolzovanie funktsionalnykh sousov na predpriyatiyakh pitaniya [Use of functional sauces in catering enterprises] // Advances in Current Natural Sciences. – 2014. – No. 11-2. – P. 65-67. [in Russian].
2. Golubeva L.V., Ponomarev A.N., Dolmatova O.I. Novye tekhnologii v proizvodstve moloka i molochnykh produktov [New technologies in the production of milk and dairy products]: monograph. – Voronezh: VGUI, 2012. – 112 p. [in Russian].
3. Golubeva L.V., Dolmatova O.I. Novye molokosoderzhashchie i molochnye sostavnye produkty [New milk-containing and composite dairy products] // Pishchevye produkty i zdorove cheloveka [Food Products and Human Health] : Proceedings of the Int. Conf. of Students, Graduate Students and Young Scientists. – Kemerovo, 2012. – P. 122-124. [in Russian].
4. Khamitova B.M., Baktybaikyzy A. Osimdik negizindegi susyndar – sut onerkasibi ushin zhanga mindet [Plant-based beverages as a new challenge for the dairy industry] // Gylym men zhastar – tabysty bolashaktyn senimdi kepili [Science and Youth – A Reliable Guarantee of a Successful Future]: Proc. of the XXV Republican Student Scientific Conf. – Shymkent: OKU, 2022. – P. 23-25. [in Kazakh].
5. Rodionov Yu.V., Nikitin D.I., Danilin S.I., Mitrokhin M.A., Uteshev M.V. et al. Tekhnologiya pererabotki pasternaka, tykvy i yablok v poroshki dlya funktsionalnogo pitaniya [Technology of processing parsnips, pumpkins and apples into powders for functional nutrition] // Problems of Agribusiness Development in the Region. – 2018. – No. 3(35). – P. 214-220. [in Russian].
6. Gavrilova N.B., Pasko O.V. Sovremennyye tekhnologii kombinirovannykh produktov na molochnoy osnove dlya spetsialnogo pitaniya [Modern technologies of combined milk-based products for special nutrition]: analytical review. – Omsk: Izd-vo OmGAU, 2013. – 110 p. [in Russian].
7. Tverdokhleba G.V., Sazhinov G.Yu., Ramanauskas R.I. Tekhnologiya moloka i molochnykh produktov [Technology of milk and dairy products]. – Moscow: Deli Print, 2014. – 616 p. [in Russian].
8. Krus G.N., Khramtsov A.G., Volokitina E.V., Karpychev S.V. Tekhnologiya moloka i molochnykh produktov [Technology of milk and dairy products] / ed. by A.M. Shalyginoy. – Moscow: Kolos, 2016. – 455 p. [in Russian].

9. Shishkov Yu.I. Nekotorye aspekty produktov funktsionalnogo pitaniya [Some aspects of functional food products] // Food Industry. – 2014. – No. 1. – P. 10-11. [in Russian].
10. Zhuchkov A.A. Razrabotka i otsenka potrebitelskikh svoystv plodoovoshchnykh sousov s funktsionalnymi dobavkami [Development and evaluation of consumer properties of fruit and vegetable sauces with functional additives]: abstract dis. ...cand. tech. sciences. – 2014. – 47 p. [in Russian].
11. Nepovinnykh N.V. Rasshirenie assortimenta produktov na osnove molochnoy syvorotki dieticheskogo profilakticheskogo pitaniya [Expansion of the range of whey-based dietary preventive nutrition products] // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. – 2017. – No. 2. – P. 26-30. [in Russian].
12. Antipova L.V., Podvigina Yu.N. Primenenie fermentnykh preparatov v tekhnologii sousov [Application of enzyme preparations in sauce technology] // Advances in Current Natural Sciences. – 2017. – No. 10. – P. 82. [in Russian].
13. Tikhonov V.N., Kalinkina G.I., Salnikova E.N. Lekarstvennye rasteniya, syre i fitopreparaty [Medicinal plants, raw materials and phytopreparations]: textbook / ed. by Prof. Dmitruka S.E. – Tomsk, 2013. – 116 p. [in Russian].

IRSTI 65.63.29 : 65.63.33

A. Orazov<sup>1</sup> – main author, | ©  
L. Nadtochii<sup>2</sup>



<sup>1,2</sup>Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2191-1295> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-4678-8177>



<sup>1</sup>Zhangir Khan West Kazakhstan Agrarian and Technical University,  
Uralsk, Kazakhstan

<sup>2</sup>ITMO University, St. Petersburg, Russia

@

<sup>1</sup>[orazov\\_ayan@mail.ru](mailto:orazov_ayan@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/ZDPQ1834>

## STUDY OF THE INFLUENCE OF POLLEN ON THE QUALITY OF FERMENTED ICE CREAM

**Abstract.** Probiotics are living microorganisms that, when consumed in sufficient amounts, provide proven health benefits, including the improvement of intestinal microflora, activation of the immune system, cholesterol reduction, and inhibition of pathogens. The present study addresses the limited data on the use of pollen as a functional ingredient in fermented ice cream with probiotics. To enrich fermented ice cream, different concentrations of pollen (3%, 5%, and 7%) were introduced into the formulations. The results demonstrated that 5% and 7% negatively affected the sensory and rheological properties, while 3% pollen maintained acceptable organoleptic quality and improved nutritional value. This highlights the potential of pollen as a novel functional ingredient for probiotic fermented ice cream. The findings provide both scientific novelty, by evaluating the optimal concentration of pollen, and practical recommendations for its application in the food industry.

**Keywords:** ice cream, probiotic, pollen, functional products, fermented ice cream.



Orazov A., Nadtochii L. Study of the influence of pollen on the quality of fermented ice cream //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2025. – No.3(89). – P.27-37.  
<https://doi.org/10.55956/ZDPQ1834>

**Introduction.** To ensure a complete diet, it is necessary to develop products designed for different age groups. These products must meet the physiological needs of the body, have a balanced composition and high nutritional and biological value. This category of products primarily includes dairy products, which are easily absorbed by the human body.

In the food industry, the development of functional food production based on the use of milk and vegetable raw materials opens up vast prospects for the creation of products with high biological value and safety. The variety of dairy products is achieved through the use of multicomponent products such as honey and pollen, which enrich the food with functional substances. In addition, bee products, including pollen, are a natural source of biologically active substances that are used in the production of functional foods. In this regard, the increased interest in the use of bee products in the production of functional foods is due to their high nutritional value and biological activity [1].

Ice cream, being one of the most popular dairy products, has significant potential for enriching the human diet due to its valuable and irreplaceable components. However, in order to preserve the organoleptic properties and storage stability of this product, care must be taken to change its formulation, especially to reduce the main ingredients or add new components.

Within the framework of the state policy aimed at providing the population with high-quality food, one of the key aspects is the development of innovative technologies for the production of high-quality and unique products from complex raw materials. Advanced and promising developments based on high technologies are used to create new functional products, such as fermented dairy products.

In this regard, it is important to develop a technology for the production of functional ice cream, enriched with valuable components such as pollen and probiotics, which ensures balanced nutrition and corresponds to the concept of functionality [2]. The aim of the research is to develop and evaluate a technology for the production of functional fermented ice cream enriched with pollen and probiotics. The objectives of the study were: to prepare formulations of fermented ice cream enriched with different concentrations of pollen (3%, 5%, and 7%); to evaluate the sensory, physicochemical, and rheological properties of the developed products; to assess microbiological safety and compliance with food safety standards; to compare the obtained results with existing literature and highlight scientific novelty.

**Materials and methods.** The objects of research were enriched fermented ice cream and the raw materials used to prepare the mixture for its production.

– Raw cow's milk – according to the State Standard of the Republic of Kazakhstan (SSRK) 1760-2019 Cow's milk – raw material. Specifications.

– Condensed milk – according to National Standard Russian Federation (NSRF) 34312-2017 Condensed milk – raw material. Specifications.

– Skimmed milk powder – according to NSRF 33629-2015 Canned milk. Dry milk. Specifications.

– Sugar – according to NSRF 33222-2015 White sugar. Specifications.

– Unsalted butter – according to NSRF 32261-2013 Butter. Specifications.

– Pollen – according to NSRF 28887-2019 Pollen. Specifications.

– Stabilizer – emulsifier – according to the Technical Regulations of the Customs Union (TR CU) 029/2012 Safety requirements for food additives, flavorings and technological aids.

– Starter culture – according to NSRF 34372-2017 Bacterial starter cultures for the production of dairy production. General specifications.

– Vanillin – according to the TR CU 029/2012 Safety requirements for food additives, flavorings and technological aids.

Sampling and their preparation for analysis were carried out in accordance with NSRF 26809.1-2014 Milk and milk products. Acceptance regulations, methods of sampling and sample preparation for testing [3,4].

Experimental studies were conducted using analytical methods corresponding to the objectives of the research. The physico-chemical, chemical, and microbiological composition and properties of the samples were determined. The safety of raw materials and finished products, as well as their chemical composition, were evaluated in accordance with the requirements of TR CU 021/2011 On food safety, and TR CU 033/2013 On the safety of milk and dairy products [5].

Formulations of ice cream mixtures with 0% (control), 3%, 5%, and 7% pollen were developed (Table 1).

Table 1

Formulations of fermented ice cream with different concentrations of pollen

Raw material	Control	Fermented ice cream with the addition of pollen		
		3%	5%	7%
Cow's milk (2.5% fat), ml	500	500	500	500
Butter (82.5% fat), g	100	100	100	100
Condensed milk (8.5% fat), g	200	200	200	200
Skimmed milk powder (93% NFMS*), g	200	200	200	200
Pollen, g	-	3	5	7
Stabilizer (xanthan gum), g	4	4	4	4
Starter, g	0.5	0.5	0.5	0.5
Vanillin, g	1	1	1	1
Total, g	1000	1000	1000	1000
*nonfat milk solids				

Stabilizers have the ability to bind water. By binding a large amount of free water, they increase the viscosity of the mixture and prevent the formation of large ice crystals during freezing. They also provide the product with a fine crystalline structure and an elastic consistency [12,13].

Xanthan gum was used as a stabilizer to form the structure of fermented ice cream enriched with pollen. A total of 4 g of stabilizer was added to the fermented ice cream samples containing 3%, 5%, and 7% pollen.

Taste, appearance, odor, consistency, and color were evaluated by organoleptic analysis in accordance with NSRF ISO 6658-2016 Organoleptic analysis – Methods. Quantitative values of sensory perception were obtained using a ten-point assessment scale. Based on the results, an organoleptic characteristic of the samples was established [6,7].

The energy value, taking into account the absorption coefficients of nutrients by the body, was calculated according to Formula 1 [8]:

$$EV = A \times 4.0 + M \times 9.0 + K \times 4.0 \quad (1)$$

where:  $EV$  – the energy value of 100 g of product;  $A$  – proteins (g/100 g of product),  $M$  – fats (g/100 g of product),  $K$  – carbohydrates (g/100 g of product).

Viscosity is one of the main criteria for the consistency of a product. It depends on the amount of solids, their spatial distribution, and the number of particles per unit volume. To increase viscosity and improve the consistency of the ice cream mixture, stabilizers were incorporated [4, 6].

The viscosity of fermented ice cream was determined using Formula (2) [9]:

$$D_B = T(D - D_1) \times K \quad (2)$$

where:  $D_B$  – dynamic viscosity, Pa·s;  $T$  – time until the balloon falls, s;  $D$  – density of the ball, kg/m<sup>3</sup>;  $D_1$  – density of the ice cream mixture after pasteurization, kg/m<sup>3</sup>;  $K$  – viscometer constant.

*Microbiological studies.* For microbiological analyses, samples were taken in accordance with NSRF 26809.1-2014 Milk and dairy products. Acceptance

regulations, methods of sampling and sample preparation for testing; Sample preparation for microbiological analyses was carried out according to NSRF 26669-85 Food-stuffs and food additives. Preparation of samples for microbiological analyses; The number of lactic acid microorganisms was determined according to NSRF 33951-2016 Milk and milk products. Methods for determination of the lactic acid bacteria; The viable cell count of *Bifidobacterium bifidum* was determined in accordance with NSRF 33491-2015 Product fermented-milk, enriched bifidobacteria bifidum. Specifications [10,11]. Each experiment was carried out in triplicate (n=3). Statistical analysis of the data was performed using one-way ANOVA, and differences between means were considered significant at  $p < 0.05$ . Results are expressed as mean  $\pm$  standard deviation (SD).

**Research results and discussion.** As a biologically active additive intended for the enrichment of fermented ice cream, pollen was used, which meets the requirements of NSRF 28887-2019 Pollen beebred. Specifications, and TR CU 021/2011 On food safety (Tables 2,3).

Table 2

## Organoleptic parameters of pollen

Indicator	NSRF 28887-2019 Pollen beebred. Specifications	Results of the study
Appearance	Granular mass, easily loose	Complies
Colour	From cream to purple and black	Complies
Consistency	Hard, does not stretch in the fingers, flattens or partially crumbles when pressed with a hard object	Complies
Smell	A specific honey-flowery, characteristic of pollen	Complies
Taste	Pleasant, sweet, may be bitter or sour	Complies
Grain size: transverse, mm, not less longitudinal, mm, not more	1.0 4.0	Complies
Disintegrated legs in the amount of not more than 1.5% of the sample weight are allowed		

Table 3

## Microbiological characteristics of pollen

Indicator	TR CU 021/2011 On food safety	The results of the study
QMA&OAMO CFU/g, max	$1 \times 10^4$	$1,6 \times 10^3$
Coliform bacteria	Not allowed	Not detected
<i>E.coli</i>	Not allowed	Not detected
<i>S.aureus</i>	Not allowed	Not detected
<i>Salmonella</i>	Not allowed	Not detected
Yeast CFU/ g, max	100	Not detected
Mold CFU/g, max	100	Not detected

The research results shown in Tables 2 and 3 indicate that the safety indicators of pollen used for fortification of fermented ice cream comply with technical requirements.

In the composition of pollen collected from various plant species, there is a change in the proportions of the color components. During the spring harvest, pollen is colored yellow, and by autumn it acquires brown and dark blue shades.

The percentage of color components in the composition of pollen is clearly shown in Figure 1.

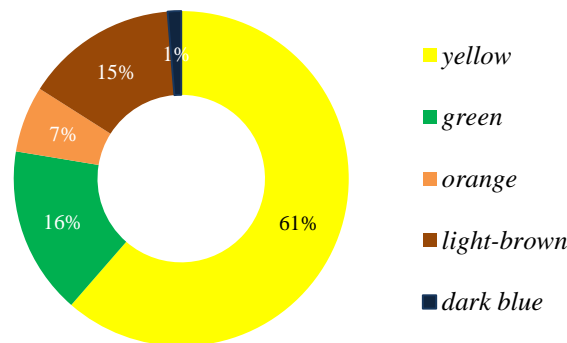
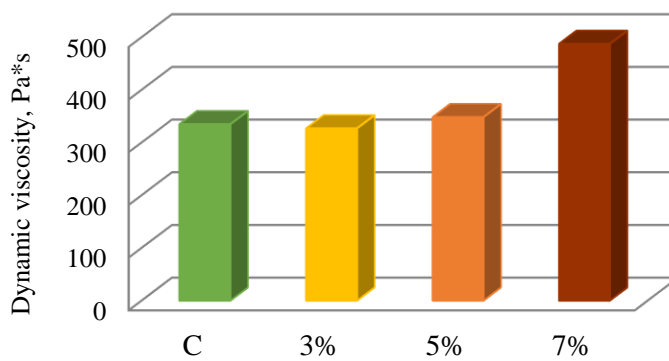


Fig. 1. Distribution of pollen mass by color

According to the data shown in the figure, 3/5 of the pollen is colored yellow, which indicates the presence of pigments in the pollen, and also suggests that the material was collected in the summer. Thus, pollen can be used as a natural dye to improve the consumer properties of fermented ice cream. In order to enrich it with pollen, concentrations of 3%, 5% and 7% were added.

The study determined the degree of influence of the stabilizer and pollen on the dynamic viscosity of the ice cream mixture. The viscosity of the mixture was measured using a VZ-246 viscometer. The results of mathematical calculations are shown in Figure 2.



C – the control sample, 3%, 5%, 7% – concentration of pollen in sample

Fig. 2. The dependence of the change in dynamic viscosity on the number of components in the mixture

During the study of the dependence of the dynamic viscosity ( $\eta$ , Pa·s) of fermented ice cream mixtures on pollen concentration, it was found that an ice cream sample enriched with pollen at a concentration of 7% showed the maximum value of dynamic viscosity. An increase in viscosity can negatively affect the organoleptic properties of the finished product, so the optimal concentrations of pollen are 3% and 5% [15,16].

In accordance with the presented recipe, fermented ice cream enriched with pollen and probiotic bacteria, organoleptic parameters were studied, in which 10 tasters participated. The results of this assessment are presented in the form of a profilogram in Figure 3.

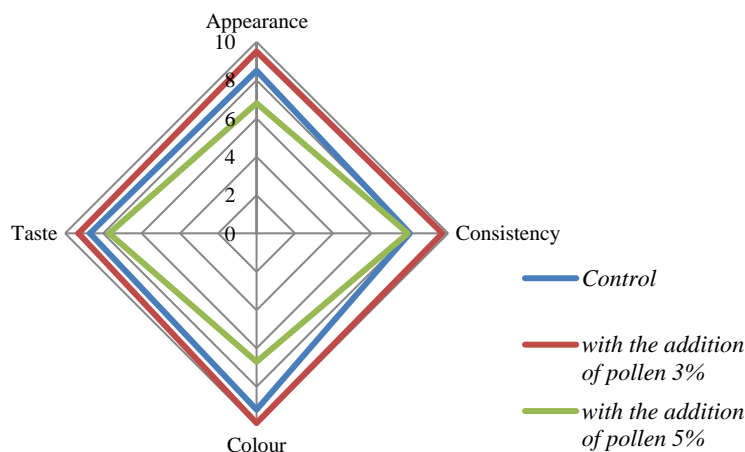


Fig. 3. Profilogram of organoleptic parameters of fermented ice cream

As a result of organoleptic studies, it was found that fermented ice cream enriched with 3% flower pollen received a score of 8.6 points on a ten-point scale. This indicator is the closest to the control sample (9.6 points). At the same time, ice cream enriched with 5% concentration of pollen was rated at 7.3 points. Based on the results of the study, it was revealed that the organoleptic properties of fermented ice cream enriched with 3% flower pollen are the most acceptable for further research.

In the process of fermentation of fermented ice cream, in addition to increasing its biological value, its nutritional and energy values also increases, which is due to biochemical processes. The nutritional and energy value of the resulting product is shown in Table 4.

Table 4

Nutritional and energy value of fermented ice cream enriched with pollen

Indicator	Control	The finished product
Fat, g	11.90	12.11±0.01
Protein, g	8.60	9.35±0.03
Carbohydrates, g	24.50	25.85±0.02
Energy value, kcal	45.00	47.31±0.02

According to the data in Table 4, when adding 3% of the concentration of pollen to the composition of fermented ice cream, the fat content increases by 1.7 g; protein – by 0.75 g; carbohydrates – by 1.35 g, which led to an increase in energy value by 4.9 kcal.

Given the high biological, nutritional and energy value of pollen, it can be concluded that adding 3% pollen to 100 grams of fortified fermented ice cream can provide a daily intake rate of 15%. The functional properties of fermented ice cream are ensured by the presence in it of biologically active amounts of probiotic

microflora and in the required amount of biologically active substances characteristic of livestock products.

The functionality of fermented ice cream is due to the presence in its composition of biologically active components inherent in natural bee products, as well as the presence of probiotic microflora in the required amount [17,18].

In accordance with the requirements of TR CU 033/2013 On the safety of milk and dairy products, the developed fermented ice cream meets the safety requirements according to the research results presented in Table 5 [19,20].

Table 5

Safety indicators of fermented ice cream

Indicator	TR CU 033/2013	The finished product
QMA&OAMO CFU/cm <sup>3</sup> (g)	1×10 <sup>7</sup>	3×10 <sup>8</sup>
Yeast (Y), mold (M), CFU/cm <sup>3</sup> (g), max	Y-10, M-50	Not detected
Coliform bacteria (not allowed)	1 cm (g)	Not detected
<i>E.coli</i> (not allowed)	10 cm (g)	Not detected
Pathogenic, including <i>Salmonella</i> and <i>L.monocytogenes</i> (not allowed)	100 cm (g)	Not detected
<i>S.aureus</i> (not allowed)	10 cm (g)	Not detected

The safety indicators of fermented ice cream enriched with pollen comply with the established standards in accordance with TR CU 033/2013, which indicates that they do not pose a danger to consumer health and are recommended for production. Statistical analysis (one-way ANOVA) confirmed that viscosity values differed significantly between samples ( $p<0.05$ ). In particular, the 7% pollen sample showed a significantly higher viscosity compared with 3% and control. Similarly, sensory evaluation scores differed significantly: the 3% pollen sample was closer to the control, while the 5% and 7% samples were rated lower ( $p<0.05$ ).

The results demonstrated that fermented ice cream enriched with 3% pollen provided the best balance between sensory properties and rheological stability. Higher concentrations (5% and 7%) led to excessive viscosity and a decrease in consumer acceptability, likely due to the bitter compounds and textural changes introduced by pollen.

These findings are consistent with earlier reports on the influence of bee products in functional foods, although previous studies mainly focused on honey or propolis. For example, Malakhov and Ogneva [10] observed that honey can improve flavor but may negatively affect texture at higher dosages. Similarly, Tvorogova et al. [11] emphasized the importance of balancing additives in fermented milk ice cream to maintain sensory quality. Our study extends this knowledge by showing that pollen at 3% concentration enhances nutritional and functional value without compromising consumer acceptance.

From a biochemical perspective, the protein-peptide spectrum and amino acid composition of pollen [21] likely contribute to improved nutritional properties, while its high content of polyphenols and pigments explains the negative impact on taste and texture at higher levels. Technologically, the addition of pollen increases viscosity, which can be beneficial up to a certain threshold but becomes undesirable when excessive.

**Conclusion.** The choice of fermented ice cream as an enrichment with bee products is theoretically and practically justified, which makes it possible to ensure the consumer properties of the finished product and bring its composition closer to the physiological consumption standards.

1. The optimal concentration of pollen in probiotic fermented ice cream was determined to be 3%, ensuring improved nutritional value without compromising sensory quality.

2. Pollen at 5% and 7% concentrations increased viscosity and negatively affected taste, limiting their application.

3. The study confirmed the microbiological safety and compliance of the developed product with food safety standards. During fermentation, it was found that a multicomponent mixture intended for fermented ice cream contains QMA&OAMO in an amount of  $3 \times 10^8$  CFU/g and favorably contributes to the fermentation process

4. Practical recommendation: fermented ice cream enriched with 3% pollen and probiotics can be recommended for industrial production.

5. As a result of the study, it was proved that the expansion of the range of dairy products is also possible due to enrichment of bee products, including flower pollen. Future research should focus on shelf-life evaluation, consumer preference studies, and investigation of biochemical mechanisms behind sensory changes at higher pollen concentrations.

#### References

1. Moiseenko M.S., Mukatova M.D. Pishchevye produkty pitaniya funktsional'noy napravlenosti i ikh naznachenie [Functional food products and their purpose] //trakhan State Technical University. Series: Fisheries. – 2019. – No. 1. – P.145-152. [in Russian].
2. Nazarov A.A., Kanarskaya Z.A., Kanarskiy A.V. Kislomolochnye produkty: puti i perspektivy sovershenstvovaniya ikh tekhnologiy [Fermented dairy products: ways and prospects of improving their technologies] // XVI All-Russian Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students with International Participation, dedicated to the 150th anniversary of the Periodic Table of Chemical Elements, April 16–19, 2019. – Kazan: KNITU Publishing House, 2019. – P. 418-421. [in Russian].
3. Eremenko V.N., Lytkin A.V., Mishagina I.V., Sin'ko O.V., Tyupenkova G.E., Luchinina I.G. Fiziologiya pishchevareniya i osnovy ratsional'nogo pitaniya [Digestive physiology and basics of rational nutrition] // Bulletin of VGUIT. – 2019. – No. 4. – P.159-165. [in Russian].
4. Skripin P.V., Zhukov R.B. Lechebnye svoystva kislomolochnykh produktov [Medicinal properties of fermented dairy products] // Proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference “Innovatsionnye puti resheniya aktual'nykh problem APK Rossii” [Innovative ways to solve urgent problems of the agro-industrial complex of Russia], December 20, 2019. — 2019. — P. 171-174. [in Russian].
5. Kirillov N.A., Smirnova N.V., Petrova A.V. Ispol'zovaniye produktov pchelovodstva dlya polucheniya ekologicheskii chistoy produktsii [Use of beekeeping products to obtain environmentally friendly products] // Perspektivy razvitiya mekhanizatsii, elektrifikatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Prospects for the Development of Mechanization, Electrification and Automation of Agricultural Production]: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference. — Cheboksary, 2021. — P. 189-192. [in Russian].
6. Antonova M.N. Izucheniye belkovo-peptidnogo spektra i aminokislotnogo sostava pyl'tsy rasteniy medonosov [Study of the protein-peptide spectrum and amino acid

- composition of honey plant pollen]: PhD thesis. – Penza: Penza State University, 2019. – 60 p. [in Russian].
7. Khayrullin Kh.Kh. Innovatsionnyye napravleniya ispol'zovaniya produktov pchelovodstva [Innovative directions in the use of beekeeping products] // Beekeeping. – 2019. – No. 4. – P. 56-57. [in Russian].
  8. Terent'yeva K.D., Sudakova N.Yu. Kharakteristika tendentsiy razvitiya otrasli proizvodstva morozhenogo [Characteristics of development trends in the ice cream production industry] // Volga State University of Technology. – 2018. – No. 8. – P. 63-66. [in Russian].
  9. Ice cream production in Kazakhstan decreased by 10% in four months [Electronic resource]. – Access mode: <https://kz.kursiv.media/2021-05-30/v-kazakhstane-sokratilos-proizvodstvo-morozhenogo-na-10-za-chetyre/>. Date of access: 23.09.2024. [in Russian].
  10. Malakhov A.S., Ogneva O.A. Morozhenoye funktsional'nogo naznacheniya [Functional ice cream] // Scientific Support of the Agro-Industrial Complex: Collection of Articles of the 11th All-Russian Conference of Young Scientists. – Krasnodar, November 29-30, 2017. – P. 939-940. [in Russian].
  11. Tvorogova A.A., Landikhovskaya A.V., Mel'denberg D.N., Kalugin R.S. Kislomolochnoye morozhenoye s ryazhenkoy [Fermented ice cream with ryazhenka] // Dairy Industry. – 2020. – No. 4. – P. 48-49. [in Russian].
  12. Nadochii L., Orazov A., Kuznetsova L.I., Pinaev A.G., Weihong L., Garbuz S., Muradova M. Identification of yeast species involved in fermentation of the Kazakh camel dairy product shubat // Agronomy Research. – 2018. – Vol. 16, No.5. – P. 2117–2129.
  13. Polyanskaya I.S., Stoyanova L.G., Semenikhina V.F. Antagonisticheskaya aktivnost' probioticheskikh shtammov: faktory regulirovaniya [Antagonistic activity of probiotic strains: regulatory factors] // Dairy Industry. – 2017. – No. 1. – P. 42-44. [in Russian].
  14. Neish A.S. Probiotics of the Acidophilus group: Lactobacillus acidophilus, delbrueckii subsp. bulgaricus and johnsonii // The Microbiota in Gastrointestinal Pathophysiology. – 2017. – No. 1. – P. 71-78.
  15. Rumyantseva L.A., Vetrova O.V., Istomin A.V. K voprosu o kachestve i gigiyenicheskoy bezopasnosti kislomolochnykh produktov (obzornaya stat'ya) [On the quality and hygienic safety of fermented dairy products (review article)] // Public Health and Habitat. – 2021. – No. 8. – P. 39-47. [in Russian].
  16. Patieva A.M., Patieva S.V., Zykova A.V., Apanasenko A.A. Ispol'zovaniye produktov pchelovodstva v tekhnologii kislomolochnykh produktov [Use of beekeeping products in the technology of fermented dairy products] // Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki [Theory and Practice of Modern Agrarian Science]: Proceedings of the 4th National (All-Russian) Scientific Conference with International Participation. – Novosibirsk: NSAU, February 26, 2021. – P.797-800. [in Russian].
  17. Orazov A., Nadochii L., Muradova M., Bozymov K., Zhumayeva A. Role of camel husbandry in food security of the Republic of Kazakhstan // Agriculture. – 2021. – Vol.11, No.7. – P.1-16.
  18. Simakova M.G. Tsvetochnaya pyl'tsa, tekhnologiya polucheniya i otsenka yeye kachestva [Flower pollen: production technology and quality assessment] // Honey Land – Honey Russia: History, Traditions, Modern Trends in Beekeeping. – Ussuriysk, October 07–09, 2020. – P.310-318. [in Russian].

19. TR CU 033/2013 O bezopasnosti moloka i molochnoy produktsii [On the Safety of Milk and Dairy Products] – Introduced 01.05.2014. – Moscow: Eurasian Economic Commission, 2013. – 47 p. [in Kazakh].
20. Zakharov V.L., Dubrovina O.A., Zhikhoreva V.I., Shchegol'kov N.F. Soderzhaniye biologicheskii aktivnykh veshchestv i mineral'nykh elementov v tsvetochnoy pyl'tse v zavisimosti ot regiona sbora [Content of biologically active substances and mineral elements in flower pollen depending on the region of collection] // Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University. – 2019. – No.1. – P.38-43. [in Russian].
21. Weiner C.N., Hilpert A., Werner M., Linsenmair K.E., Blüthgen N. Pollen amino acids and flower specialisation in solitary bees // Apidologie. – 2010. – No.41. – P.476-487.

*This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19175509).*

*Received: 04 March 2025*

*Accepted: 12 September 2025*

**А.Ж. Оразов<sup>1</sup>, Л.А. Надточий<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті,  
Орал қ., Қазақстан*

<sup>2</sup>*ИТМО университеті, Санкт-Петербург қ., Ресей*

#### **ҚЫШҚЫЛ СҮТТІ БАЛМҰЗДАҚТЫҢ САПА КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ГҮЛ ТОЗАҢЫНЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ**

**Аңдатпа.** Пробиотиктер тірі микроорганизмдер болып табылады, оларды жеткілікті мөлшерде тұтынған кезде тұтынушылардың денсаулығына бірқатар пайда әкеледі. Оларға ішек микрофлорасын жақсарту, иммундық жүйені белсендіру, қан құрамындағы холестеринді төмендету және ауру қоздырғыштардың өсуін тежеу жатады. Зерттеу жұмыстарының барысында *Bifidobacterium bifidum* және *Lactobacillus acidophilus* бактерияларының дақылдарын балмұздақ құрамына енгізу арқылы функционалды өнімдер ассортиментін ұлғайту көзделді. Қышқыл сүтті балмұздақты байыту мақсатында гүл тозаңының 3%, 5% және 7% концентрациясы енгізілді және балмұздақ қоспасының рецептуралары дайындалды. Байытылған қышқыл сүтті балмұздақ қоспасына жүргізілген зерттеулер нәтижесінде гүл тозаңының 5% және 7% концентрациясын енгізу органолептикалық және физикалық көрсеткіштеріне теріс әсерін тизгізетіндігі анықталды. Балмұздақ өнімдерінің тартымдылығын жоғары деңгейде сақтау үшін тағам өнеркәсібі үнемі қиындықтарға тап болады, өйткені функционалды балмұздақ пайдалы ғана емес, сонымен қатар дәмді болуы керек. Осы орайда, гүл тозаңының 3% концентрациясымен байытылған қышқыл сүтті балмұздақ барлық зерттеулер бойынша ең жақсы көрсеткіштерді көрсетті және өндіріске енгізу ұсынылды.

**Тірек сөздер:** балмұздақ, пробиотикалық бактериялар, гүл тозаңы, функционалды тағамдар, қышқыл сүтті балмұздақ.

А.Ж. Оразов<sup>1</sup>, Л.А. Надточий<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана,  
г. Уральск, Казахстан

<sup>2</sup>Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия


#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦВЕТОЧНОЙ ПЫЛЬЦЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА КИСЛОМОЛОЧНОГО МОРОЖЕНОГО

**Аннотация.** Пробиотики – это живые микроорганизмы, которые при достаточном потреблении приносят потребителям ряд преимуществ для здоровья. К ним относятся улучшение микрофлоры кишечника, активизация иммунной системы, снижение уровня холестерина в крови и подавление роста патогенных микроорганизмов. В ходе исследований планировалось увеличить ассортимент функциональных продуктов за счет включения в состав мороженого культур бактерий *Bifidobacterium bifidum* и *Lactobacillus acidophilus*. Для обогащения кисломолочного мороженого вводили концентрацию цветочной пыльцы в 3%, 5%, 7% и готовили рецептуры смесей для мороженого. В результате проведенных исследований смеси обогащенного кисломолочного мороженого было установлено, что введение 5% и 7% концентрации цветочной пыльцы оказывает негативное влияние на органолептические и физические показатели. Чтобы сохранить потребительские качества мороженого на высоком уровне, пищевая промышленность постоянно сталкивается с трудностями, ведь функциональное мороженое должно быть не только полезным, но и вкусным. В связи с этим кисломолочное мороженое, обогащенное 3% концентрацией цветочной пыльцы, показал наилучшие показатели во всех исследованиях и рекомендовано к внедрению в производство.


**Ключевые слова:** мороженое, пробиотические бактерии, пыльца, функциональные продукты, кисломолочное мороженое.


FTAMP 65.63.03 : 65.63.39

Т.Ч. Тултабаева<sup>1</sup> – негізгі автор, ©  
Г.Н. Жакупова<sup>2</sup>, К.К. Макангали<sup>3</sup>, А.Е. Шоман<sup>4</sup>,  
А.Х. Мулдашева<sup>5</sup>, А.Т. Сағандық<sup>6</sup>, А.Т. Ахметжанова<sup>7</sup>

 <sup>1</sup>Техн. ғылым.д-ры., профессор, <sup>2</sup>Техн. ғылым. канд., профессор,  
<sup>3</sup>PhD, қауымдас. профессор, <sup>4</sup>PhD, <sup>5,6</sup>Ғылыми қызметкер, <sup>7</sup>Докторант

ORCID <sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2483-7406> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-7714-4836>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-4128-6482> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-7844-8601>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-5480-933X> <sup>6</sup><https://orcid.org/0009-0002-2584-654X>  
<sup>7</sup><https://orcid.org/0009-0002-2584-654X>

 <sup>1,2,3,5,6,7</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,  
Астана қ., Қазақстан

 <sup>4</sup>IT Университеті, Астана қ., Қазақстан


@ <sup>7</sup>[aygerim\\_talgatqyzy@mail.ru](mailto:aygerim_talgatqyzy@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/TUJJ1416>

## ӘР ТҮРЛІ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ ЖАНУАРЛАРЫНЫҢ СҮТІН ЖҰМСАҚ ІРІМШІК ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДА ҚОЛДАНУ

**Аңдатпа.** Импортты алмастыру және Қазақстанның азық-түлік қауіпсіздігін арттыру міндеттерін өзектендіру жағдайында тағамдық және биологиялық құндылығы жоғары сүт өнімдерінің жаңа түрлерін әзірлеуге өсіп келе жатқан көңіл бөлінеді. Бұл зерттеу өсімдік тектес компоненттер қосылған сиыр, ешкі және түйе сүтінің қоспасынан жұмсақ ірімшіктер өндіру технологиясын негіздеуге арналған. Жұмыста көрсетілген сүт түрлерінің физика-химиялық және органолептикалық қасиеттеріне салыстырмалы талдау келтірілген. Ешкі мен түйе сүтінің бірқатар артықшылықтары бар екендігі анықталды: гипоаллергенділік, биоактивті заттардың жоғары мөлшері, ақуыздар мен майлардың қолайлы құрылымы. Оларды дәстүрлі сиыр сүтімен бірге қолдану жұмсақ ірімшіктердің ассортиментін едәуір кеңейтуге, олардың дәмін жақсартуға және функционалдық құндылығын арттыруға мүмкіндік береді. Әсіресе перспективалы бағыт – салауатты тамақтанудың заманауи тенденцияларына сәйкес келетін жұмсақ ірімшік тағамдарын өндіру. Шикізаттың дәстүрлі емес түрлерін қоса алғанда, сүтті өңдеудің жаңа технологияларын әзірлеу Қазақстанның ірімшік өнеркәсібін дамытуда және табиғи және пайдалы өнімдерге өсіп келе жатқан сұранысты қанағаттандыруда маңызды қадам бола алады. Өндіріс технологиясына өсімдік тектес инновациялық компоненттерді енгізу ірімшіктердің органолептикалық сипаттамаларын жақсартуға, олардың тағамдық құндылығын және өндірістің экологиялық тұрақтылығын арттыруға, сондай-ақ тұтынушылардың денсаулығын нығайтуға ықпал етеді.

**Тірек сөздер:** сиыр сүті, ешкі сүті, түйе сүті, жұмсақ ірімшік, функционалды өнім.

 Тултабаева, Т.Ч. Әр түрлі ауылшаруашылық жануарларының сүтін жұмсақ ірімшік өндіру технологиясында қолдану [Мәтін] / Т.Ч. Тултабаева, Г.Н. Жакупова, К.К. Макангали, А.Е. Шоман, А.Х. Мулдашева, А.Т. Сағандық, А.Т. Ахметжанова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.38-46. <https://doi.org/10.55956/TUJJ1416>

**Кіріспе.** Қазақстан Республикасының Президенті Қасым-Жомарт Тоқаев Қазақстан халқына жолдауында елдің өнеркәсіптік әлеуетін толық ашу үшін жүйелі күш-жігердің маңыздылығын атап өтті. Отандық шикізат пен компоненттерді барынша пайдалану, алыптардың айналасында іргелес өндірістерді құру маңызды. Бұл қазіргі уақытта жергілікті өндірісті қалай дамыту керектігін көрсетеді [1].

Сиыр сүті ақуыз бен кальцийдің қолжетімді әрі бай көзі, сонымен қатар сүйек саулығы үшін құнды өнім болып табылады. Қаныққан майдың жоғары мөлшеріне қарамастан, толық майлы сүт өнімдерін тұтыну жүрек-қан тамырлары ауруларының қаупінде айтарлықтай өзгерістер тудырмайтыны байқалады [2].

Түйе сүті болашақта ең перспективалы өнеркәсіптік өнімге айналуға. Сонымен қатар, оның емдік қасиеттері бар, биоактивті, микробқа қарсы және антиоксидантты заттардың көзіне бай. Түйе сүті басқа сүт түрлерінен ақуыз құрамымен, сүтті май құрылымымен, минералдарымен және дәрумендерімен айтарлықтай ерекшеленеді. Бұл сипаттамалар өнімді өңдеу өнімділігі мен өнім сапасына айқын әсер етеді [3,4].

Ешкі сүтінен жасалған өнімдер адам денсаулығына қолайлы, аллергиялық реакциялардың жиілігі төмен және асқазан-ішек, жүрек-қан тамырлары және стресске байланысты аурулар сияқты басқа ауруларды емдеуге пайдалы [5].

Азық-түліктің алуан түрлілігінің ішінде жетекші орындардың бірі ірімшіктер. Әлемдік тамақтану ғылымы ірімшікті жоғары қоректік, биологиялық тұрғыдан толық өнім ретінде таниды. Бұл ауыстырылмайтын таптырмас және міндетті компонент [6].

Ірімшіктер қазіргі адамның тамақ рационында берік орын алады және оларды таңдау өте алуан түрлі. Ассортименттің көптігіне қарамастан, ірімшіктердің едәуір бөлігі шетелден келеді. Ірімшік өндірісіне жарамды сүттің жетіспеушілігіне байланысты бұл саладағы импортты алмастыру сүт шикізатын тиімді пайдалану мен ресурстарды үнемдеуге тікелей байланысты [7].

Ірімшіктердің алуан түрлілігінде олардың жоғары қоректік және биологиялық құндылығы, шикізатты ұтымды пайдалану және қолданыстағы сүт өңдеу кәсіпорындарында өндіріске интеграциялау мүмкіндігі тұрғысынан перспективалы ретінде қысқа уақытта дайындалатындығында немесе онсыз сатылатын жұмсақ сорттар ерекшеленеді. Жұмсақ ірімшік өндірісінің тағы бір артықшылығы-функционалды тағамдық ингредиенттер мен дәмдік қоспалардың кең ауқымын пайдалану мүмкіндігі. Бұл әртүрлі популяциялардың қажеттіліктерін қанағаттандыру және олардың функционалды құндылығын қамтамасыз ету арқылы шығарылатын ірімшіктердің ауқымын кеңейтуге мүмкіндіктер ашады [8,9].

Сүт өңдеу бойынша әлемнің әртүрлі аймақтарындағы жетістіктерге шолу жұмсақ ірімшіктердің өсіп келе жатқан ролін растайды. Соңғы уақытта жұмсақ ірімшіктердің жаңа түрлерін әзірлеу бойынша зерттеулер көбейіп келеді, өйткені олардың қатты және тұзды ірімшіктерге қарағанда бірқатар артықшылықтары бар. Оларды шығару үнемді, өйткені олар өнделетін сүт түрлерінің (сиыр, ешкі, түйе) құрамына, қасиеттеріне және сапасына аз талап етеді, бұл сүт шикізатының құрамдас бөліктерін толық және тиімді пайдалануға, ірімшік массасын алу технологиясын күшейтуге мүмкіндік береді. Бұл ретте өндіріс тиімділігін арттыру үшін шикізаттағы негізгі

компоненттердің (акуыз және май) концентрациясын арттыруға болады, бұл соңғы өнімнің қасиеттерінің ілгерілеуіне мүмкіндік береді [10].

Қазақстанда ірімшік тағамдарына сұраныстың өсуі байқалады, бұл тұтынушылардың қалауының өзгеруіне және пайдалы тағамдарға қызығушылықтың артуына байланысты. Зерттеу деректері бойынша, 2023 жылы елдегі қала халқының 41%-ы күніне кем дегенде бір рет жеңіл тағамдарды тұтынған, ал 2024 жылы бұл көрсеткіш 49%-ға дейін өсті [11].

2025 жылдың қаңтарында Қазақстанда 3,4 мың тонна ірімшік пен сүзбе өндірілді – бұл өткен жылмен салыстырғанда 18,2%-ға аз, деп жазады сарапшылар [12]. Сарапшылардың деректері бойынша шығарылымның ең үлкен көлемі Алматы (597 тонна) және Солтүстік Қазақстан (435 тонна) облыстарында, сондай-ақ Шымкент (352 тонна) және Алматы (345 тонна) облыстарында тіркелді [13].

Қаңтар айында сүзбе өндіру көлемі 1,8 мың тоннаға жетті, оның 868 тоннасы майсыз сүзбеге, ал 952 тоннасы майға тиесілі болды. Жұмсақ, қатты және тұзды ірімшік 1,2 мың тоннаны, балқытылған ірімшік 168 тоннаны құрады.

Сарапшылар Қазақстандағы бағаларды әлемдік көрсеткіштермен салыстырды. 2025 жылғы 20 ақпанда ҚР-да жергілікті өндірілген бір килограмм ірімшіктің орташа бағасы шамамен 4600 теңгені құрады.

Бірақ сарапшылар атап өткендей, Қазақстандағы ірімшік нарығында өзін-өзі қамтамасыз ету деңгейі артып келеді. Мәселен, 2024 жылғы қаңтар-желтоқсан қорытындысы бойынша жергілікті компаниялар бір жыл бұрынғы 44,3%-ға қарағанда 50,3%-ға сұранысты (ішкі нарықта өткізу және экспорт) қамтамасыз етті. Осы кезеңде ірімшік пен сүзбе өндірісі айтарлықтай 10,1%-ға артып, 48,3 мың тоннаға жетті, ал импорт, керісінше, 13,5%-ға, 47,8 мың тоннаға дейін қысқарды. Ірімшік пен оның өнімдеріне сұраныстың артуымен бұл өндірушілерге мүмкіндіктер ашады [14].

Жұмсақ ірімшіктер негізінен сиыр сүтінен жасалады, ешкі сүті мен басқа ауылшаруашылық жануарларының сүті (мысалы, қой, түйе) аз қолданылады. Өндіріске сиыр сүтін ғана емес, сонымен қатар басқа жануарлардың сүтін, атап айтқанда ешкі мен түйе сүтін тарта отырып, жұмсақ ірімшіктер шығаруды ұлғайту қазіргі заманғы адамның рационындағы толық акуыздың жетіспеушілігін ішінара шешудің қол жетімді нұсқаларының бірі бола алады, әсіресе ешкілерді өсіру және ұстау қазіргі уақытта дамып келе жатқан мал шаруашылығы саласы болып табылады. Ешкі сүті мен түйе сүтінің гипоаллергенді және биологиялық ерекшеліктері де өте тартымды.

Осыған байланысты өсімдік тектес компоненттерді қоса отырып, сиыр мен ешкі сүтінің қоспасынан жұмсақ ірімшіктер шығару есебінен ассортиментті кеңейту ірімшік өндірісіндегі өзекті және перспективалы бағыт болып көрінеді. Жұмыстың мақсаты өнімнің ассортиментін кеңейту және тағамдық және биологиялық құндылығын арттыру үшін шикізаттың қышқылдық көрсеткіштерін ескере отырып, өсімдік тектес компоненттерді қоса отырып, сиыр, ешкі және түйе сүтінің қоспасынан жұмсақ ірімшіктер өндірудің орындылығын негіздеу және технологиясын әзірлеу.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Физика-химиялық көрсеткіштерді анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің сүт және сүт өнімдерін өңдеу жөніндегі өндірістік-эксперименттік цехтың базасында, сондай-ақ «Тамақ

және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының ғылыми зертханасында жүргізілді.

Зерттеу барысында қолданылатын негізгі физика-химиялық талдаулар төменде келтірілген:

– Сүттің титрленетін қышқылдығы МЕМСТ 3624-92 («Сүт және сүт өнімдері. Титриметриялық қышқылдықты анықтау әдістері») бойынша анықталды;

– Ақуыздардың, майлардың және қатты заттардың құрамы сұйық және қатты материалдарды талдау үшін FT-NIR жақын инфрақызыл Tango Bruker зертханалық спектрометрінің көмегімен анықталды, спектрлік диапазон 11500-4000 см<sup>-1</sup>;

– Лактоза МЕМСТ 34304-2017 («Сүт және сүт өнімдері. Лактоза анықтау әдісі») бойынша анықталды [15].

**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** Жүргізілген зерттеулерге сәйкес, сүт МЕМСТ-қа сәйкес келеді және барлық талаптарға сәйкес келеді. Шикі сүттің физика-химиялық көрсеткіштерін анықтау үшін талдаулар жүргізілді. Бақылау моделі ретінде қолданыстағы МЕМСТ 32940-2014 («Шикі ешкі сүті») [16], МЕМСТ 32255-2013 («Шикі сиыр сүті») [17], МЕМСТ 35104-2024 («Шикі түйе сүті») пайдаланылды [18]. Әрі қарай органолептикалық көрсеткіштер 1-кестеде келтірілген.

#### Кесте 1

Ауыл шаруашылығы жануарлары сүтінің органолептикалық көрсеткіштері

Қасиеті	Сиыр сүті	Ешкі сүті	Түйе сүті
Түсі	Сарғыш реңкпен ақ	Ақ түстен ашық-кремді	Ақ немесе сәл көкшіл
Иісі	Әлсіз, сүтті	Ешкі сүтіне тән	Бейтарап, сәл тәтті
Дәмі	Тәтті, нәзік	Қаныққан, тартылған, аздап қышқылдығы бар	Тәтті, сәл тұзды
Құрылымы	Біртекті, орташа майлы	Қалың, дәмі аз майлы	Сұйық, майсыз, бірақ тұтқырлығы жоғары

Физикалық-химиялық қасиеттерді талдау майдың, ақуыздың, лактозаның, судың және калорияның құрамын анықтауды қамтыды. Технологиялық қасиеттері өңдеу ыңғайлылығының параметрлері, ірімшік өндіру мүмкіндігі, пастерлеу ерекшеліктері және пробиотикалық қасиеттердің болуы бойынша бағаланды. Ауыл шаруашылығы жануарлары сүтінің физика-химиялық көрсеткіштері 2-кестеде көрсетілген.

#### Кесте 2

Ауыл шаруашылығы жануарлары сүтінің физика-химиялық көрсеткіштері

Көрсеткіштері	Сиыр сүті	МЕМСТ 32255-2013. Сиыр сүтіне	Ешкі сүті	МЕМСТ 32940-2014 Ешкі сүтіне	Түйе сүті	МЕМСТ 35104-2024 Түйе сүтіне
1	2	3	4	5	6	7
Майдың массалық үлесі, (%)	3,2	2,8 кем емес	3,5	3,2 кем емес	3,1	3 кем емес
Ақуыздың массалық үлесі, (%)	3,1	3,0 кем емес	3,1	2,8 кем емес	4,2	3,8 кем емес
Лактоза (%)	4,8	1-ден 6-ға дейін	4,4	-	5,0	-
Құрғақ заттардың мөлшері, %	10,51	2,0-ден 15-ге дейін	13,33	кем емес 11,8	14,65	15

## 2-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7
Тығыздығы, кг/м <sup>3</sup> °Т кем емес	2535	1028 кем емес	1028	1027-1030 дейін	2396	1032 кем емес
Титрленетін қышқылдық, °Т	16,1	16,0-ден төмен емес және 18,0-ден жоғары емес	17,2	14,0-ден төмен емес және 21,0- ден жоғары емес	16,4	артық емес 17,5

Сүттің әртүрлі түрлеріндегі майдың мөлшері жануарлардың биологиялық ерекшеліктеріне де, олардың диетасына, ұстау жағдайларына және тұқымдық сипаттамаларына да байланысты. Сиыр сүтінде 3,2% май бар, бұл көптеген өнеркәсіптік тұқымдар үшін орташа көрсеткіш. Бұл деңгей қайта өңдеу үшін оңтайлы және жаппай тұтыну үшін дәмі мен құрылымы бойынша жақсы теңдестірілген. Сиыр сүтіндегі май үлкен май глобулалары түрінде келеді, бұл кейбір адамдарда оны қорытуды қиындатады. Ешкі сүті майдың жоғарылауымен сипатталады - шамамен 4,0%, бұл оны калориялы және қоректік етеді. Сонымен қатар, ешкі сүтіндегі май глобулалары едәуір аз, ал майдың құрылымы оңай сіңеді, әсіресе ас қорытуы сезімтал адамдар. Бұл ешкі сүті диеталық және балалар тағамында жиі қолданылатындығының бір түсіндірмесі. Майдың жоғарылауы ешкі сүтінен жасалған тағамдарға (мысалы, ірімшіктерге) бай дәм мен құрылым береді. Түйе сүтінде 3,7% май бар және бұл көрсеткіш қоршаған орта жағдайларына байланысты өзгеруі мүмкін. Түйе сүтіндегі майдың ерекше құрамы бар-оның құрамында қанықпаған май қышқылдары көп және холестерин аз, бұл оны жүрек-қан тамырлары ауруларының алдын алу тұрғысынан пайдалы етеді. Сонымен қатар, түйе сүті аллергиялық реакцияларды сирек тудырады және биологиялық құндылығы жоғары.

Қышқылдықты (титрленетін және белсенді), майдың, ақуыздың, лактозаның құрамын, тығыздығын, қатты заттар мен калорияларды зерттеу негізінде өсімдік компоненттері қосылған әр түрлі жануарлардың сүт қоспасын қолдану дәмі мен функционалдық сипаттамалары жақсартылған өнімді жасауға мүмкіндік беретіні анықталды. Гипоаллергенді және емдік-профилактикалық қасиеттері бар ешкі мен түйе сүтін рецептураға енгізу ерекше перспективалы болып табылады [18].

**Қорытынды.** Зерттеу нәтижесінде ауыл шаруашылығы жануарларының – сиыр, ешкі және түйе сүтінің жоғары тағамдық және биологиялық құндылығы анықталды. Олардың физика-химиялық және органолептикалық қасиеттерін талдау сүттің бұл түрлерінің жұмсақ ірімшіктер өндіруге жақсы технологиялық жарамдылығын көрсетті.

Мұндай қоспадан жұмсақ ірімшіктер өндіру отандық сүт өнімдерінің ассортиментін кеңейтудің, оның бәсекеге қабілеттілігін арттырудың, сондай-ақ халықты функционалды тамақ өнімдерімен қамтамасыз етудің тиімді әдісі бола алады. Бұл әсіресе ірімшік өнімдеріне сұраныстың артуы және жергілікті шикізатты тиімді пайдалану қажеттілігі жағдайында байқалады.

Осылайша, сиыр, ешкі және түйе сүтінің өсімдік компоненттері бар қоспасынан жұмсақ ірімшіктер өндіру технологиясын әзірлеу Қазақстанда ірімшік жасау саласын дамытуға ықпал ететін негізделген және перспективалы міндет болып табылады.

### Әдебиеттер тізімі

1. Послание Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Справедливый Казахстан: закон и порядок, экономический рост, общественный оптимизм» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-spravedlivyyu-kazahstan-zakon-i-poryadok-ekonomicheskiy-rost-obshchestvennyu-optimizm-285014>. Дата обращения: 11.04.2025.
2. Мусиханова, Н.М. Продукт функционального питания – пахта. Состав, полезные свойства [Текст] / Н.М. Мусиханова, Х.М. Алиева // Инновационная наука как основа развития современного государства. – 2017. – С. 162-164.
3. Илашева, С.А. Анализ производства молока и молочной продукции в ЮКО [Текст] / С.А. Илашева, К.Р. Мухамедшина, А.Н. Абишов // Научные труды ЮКГУ имени М. Ауэзова. – 2018. – С. 42.
4. Hussen A., Eshetu M. Physico-chemical properties and processing characteristics of camel milk as compared with other dairy species: A review // Asian Journal of Dairy and Food Research. – 2024. – Vol. 43. – No. 1. – P. 1-7.
5. Оспанов, А.Б. Исследование физико-химического состава и технологических свойств овечьего и козьего молока в летний период лактации [Текст] / А.Б. Оспанов [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2021. – № 2. – С. 64-74.
6. Turck D. Cow's milk and goat's milk // World Review of Nutrition and Dietetics. – 2013. – Vol. 108. – P. 56-62.
7. Перекусывайте разумнее: в Казахстане растет спрос на здоровую пищу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://kz.kursiv.media/en/2024-10-28/engk-yeri-snacking-smarter-kazakhstans-growing-demand-for-healthy-options/?utm\\_source=chatgpt.com](https://kz.kursiv.media/en/2024-10-28/engk-yeri-snacking-smarter-kazakhstans-growing-demand-for-healthy-options/?utm_source=chatgpt.com). Дата обращения: 11.04.2025.
8. В Казахстане растет спрос на продукты здорового питания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tribune.kz/v-kazahstane-rastet-spros-na-produkty-zdorovogo-pitaniya>. Дата обращения: 11.04.2025.
9. [?] // Журнал «Питание и здоровье». – 2022. – № 3. – С. 24-29.
10. Mohamed H.E., El-Zubeir I.E.M. Composition and Medicinal Properties of Camel Milk: Review // International Journal of Dairy Science. – 2017. – Vol. 12(2). – P. 55-66.
11. Тренды потребления снеков в РК в 2023-2024 гг [Текст] // Отчет агентства «Data Insight Kazakhstan». – Алматы, 2024.
12. Аналитический отчет «Состояние и тенденции развития молочной отрасли РК» [Текст]. – Нур-Султан : Министерство сельского хозяйства РК, 2024.
13. Ranking.kz. Производство сыра и творога в Казахстане: статистика за январь 2025 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ranking.kz>. Дата обращения: 11.04.2025.
14. Park Y.W. Goat milk – chemistry and nutrition // Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals. – Wiley-Blackwell, 2006. – P. 34-58.
15. ГОСТ 34304–2017. Издания. Молоко и молочные продукты. Метод определения лактозы и галактозы [Текст]. – Введ. 2017–11–30. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 8 с.
16. ГОСТ 52054–2023. Молоко коровье сырое. Технические требования [Текст]. – Введ. 2023–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2025. – 11 с.
17. ГОСТ 32940–2014. Молоко козье сырое [Текст]. – Введ. 2016–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 9 с.
18. ГОСТ 35104–2024. Молоко и молочные продукты. Молоко верблюжье сырое [Текст]. – Введ. 2025–03–04. – М.: Изд-во стандартов, 2024. – 12 с.

*Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған BR24892775 «Тамақ өнімдерін өндіру үшін ауыл шаруашылығы шикізатын кешенді және терең өңдеу технологиясын әзірлеу, өнімнің жоғары сапасы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету» жоба аясында орындалды.*

*Материал редакцияға 29.04.25 түсті, 30.08.25 қабылданды.*

Т.Ч. Тултабаева<sup>1</sup>, Г.Н. Жакупова<sup>1</sup>, К.К. Макангали<sup>1</sup>,  
А.Е. Шоман<sup>2</sup>, А.Х. Мулдашева<sup>1</sup>, А.Т. Сағандық<sup>1</sup>, А.Т. Ахметжанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казакский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,  
г. Астана, Казахстан

<sup>2</sup>IT Университет, г. Астана, Казахстан

#### ПРИМЕНЕНИЕ МОЛОКА РАЗЛИЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МЯГКИХ СЫРОВ

**Аннотация.** В условиях актуализации задач импортозамещения и повышения продовольственной безопасности Казахстана, возрастающее внимание уделяется разработке новых видов молочной продукции с высокой пищевой и биологической ценностью. Данное исследование посвящено обоснованию технологии производства мягких сыров из смеси коровьего, козьего и верблюжьего молока с добавлением компонентов растительного происхождения. В работе приведен сравнительный анализ физико-химических и органолептических свойств указанных видов молока. Установлено, что козье и верблюжье молоко обладают рядом преимуществ: гипоаллергенность, высокое содержание биоактивных веществ, благоприятная структура белков и жиров. Использование их в сочетании с традиционным коровьим молоком позволяет значительно расширить ассортимент мягких сыров, улучшить их вкусовые качества и увеличить функциональную ценность. Особенно перспективным направлением является производство мягких сырных снеков, отвечающих современным тенденциям здорового питания. Разработка новых технологий переработки молока, включая нетрадиционные виды сырья, может стать важным шагом в развитии сыродельной промышленности Казахстана и удовлетворении растущего спроса на натуральные и полезные продукты. Введение инновационных компонентов растительного происхождения в технологию производства позволит улучшить органолептические характеристики сыров, повысить их питательную ценность и экологическую устойчивость производства, а также способствовать укреплению здоровья потребителей.

**Ключевые слова:** коровье молоко, козье молоко, верблюжье молоко, мягкий сыр, функциональный продукт.

T.Ch. Tultabayeva<sup>1</sup>, G.N. Zhakupova<sup>1</sup>, K.K. Makangali<sup>1</sup>,  
A.E. Shoman<sup>2</sup>, A.Kh. Muldasheva<sup>1</sup>, A.T. Sagandyk<sup>1</sup>, A.T. Akhmetzhanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>IT University, Astana, Kazakhstan

#### THE USE OF MILK FROM DIFFERENT AGRICULTURAL ANIMAL SPECIES IN THE TECHNOLOGY OF SOFT CHEESE PRODUCTION

**Abstract.** In the context of the actualization of the tasks of import substitution and improving the food security of Kazakhstan, increasing attention is being paid to the development of new types of dairy products with high nutritional and biological value. This study is devoted to the substantiation of the technology of production of soft cheeses from a mixture of cow, goat and camel milk with the addition of components of vegetable origin. The paper presents a comparative analysis of the physico-chemical and organoleptic properties of these types of milk. It has been established that goat's and camel's milk have a number of advantages: hypoallergenic, high content of bioactive substances, favorable structure of proteins and fats. Using them in combination with

traditional cow's milk makes it possible to significantly expand the range of soft cheeses, improve their taste qualities and increase their functional value. A particularly promising area is the production of soft cheese snacks that meet current trends in healthy eating. The development of new milk processing technologies, including non-traditional raw materials, can be an important step in the development of Kazakhstan's cheese industry and meeting the growing demand for natural and healthy products. The introduction of innovative plant-based components into the production technology will improve the organoleptic characteristics of cheeses, increase their nutritional value and environmental sustainability of production, as well as promote consumer health.

**Keywords:** cow's milk, goat's milk, camel's milk, soft cheese, functional product.

#### References

1. Address of the Head of State Kassym-Jomart Tokayev to the People of Kazakhstan "Fair Kazakhstan: Law and Order, Economic Growth, Public Optimism" [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-spravedlivyy-kazahstan-zakon-i-poryadok-ekonomicheskoy-rost-obshchestvennyy-optimizm-285014>. Date of access: 11.04.25. [in Russian].
2. Musikhanova N.M., Alieva Kh.M. Produkt funktsional'nogo pitaniya – pakhta. Sostav, poleznye svoystva [Functional food product – buttermilk. Composition, beneficial properties] // Innovative Science as the Basis for the Development of the Modern State. – 2017. – P. 162-164. [in Russian].
3. Ilasheva S.A., Mukhamedshina K.R., Abishov A.N. Analiz proizvodstva moloka i molochnoy produktsii v YuKO [Analysis of milk and dairy production in South Kazakhstan region] // Proceedings of M. Auezov South Kazakhstan State University. – 2018. – P. 42. [in Russian].
4. Hussen A., Eshetu M. Physico-chemical properties and processing characteristics of camel milk as compared with other dairy species: A review // Asian Journal of Dairy and Food Research. – 2024. – Vol. 43. – No. 1. – P. 1-7.
5. Ospanov A.B. et al. Issledovanie fiziko-khimicheskogo sostava i tekhnologicheskikh svoystv ovechego i kozhego moloka v letniy period laktatsii [Study of the physicochemical composition and technological properties of sheep and goat milk during the summer lactation period] // Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. – 2021. – No. 2. – P. 64-74. [in Russian].
6. Turck D. Cow's milk and goat's milk // World Rev Nutr Diet. – 2013. – Vol. 108. – P. 56-62.
7. Snack Smarter: Kazakhstan's Growing Demand for Healthy Food [Electronic resource]. – Access mode: [https://kz.kursiv.media/en/2024-10-28/engk-yeri-snacking-smarter-kazakhstans-growing-demand-for-healthy-options/?utm\\_source=chatgpt.com](https://kz.kursiv.media/en/2024-10-28/engk-yeri-snacking-smarter-kazakhstans-growing-demand-for-healthy-options/?utm_source=chatgpt.com). Date of access: 11.04.2025. [in Russian].
8. The Demand for Healthy Food Products is Growing in Kazakhstan [Electronic resource]. – Access mode: <https://tribune.kz/v-kazahstane-rastet-spros-na-produkty-zdorovogo-pitaniya>. Date of access: 11.04.2025. [in Russian].
9. [?] // Journal "Nutrition and Health". – 2022. – No. 3. – P. 24-29. [in Russian].
10. Mohamed H.E., El-Zubeir I.E.M. Composition and Medicinal Properties of Camel Milk: Review // International Journal of Dairy Science. – 2017. – Vol. 12(2). – P. 55-66.
11. Trendy potrebleniya snekov v RK v 2023–2024 gg [Snack Consumption Trends in Kazakhstan in 2023–2024] // Otchet agentstva «Data Insight Kazakhstan» [Report of the "Data Insight Kazakhstan" Agency]. – Almaty, 2024. [in Russian].
12. Analiticheskiy otchet «Sostoyaniye i tendentsii razvitiya molochnoy otrasli RK» [Analytical Report "State and Trends of Dairy Industry Development in the Republic of Kazakhstan"]. – Nur-Sultan: Ministry of Agriculture of RK, 2024. [in Russian].

13. Ranking.kz. Cheese and Cottage Cheese Production in Kazakhstan: Statistics for January 2025 [Electronic resource]. – Access mode: <https://ranking.kz>. Date of access: 11.04.2025. [in Russian].
14. Park Y. W. Goat milk – chemistry and nutrition // Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals. – Wiley-Blackwell, 2006. – P. 34–58.
15. GOST 34304–2017. Moloko molochnye produkty. Metod opredelenie laktozy i galaktozy [Milk and dairy products. Method for determination of lactose and galactose]. – Introduced. 2017–11–30. – Moscow: Standards Publishing House, 2017. – 8 p. [in Russian].
16. GOST 52054–2023. Moloko korov'e syroe. Tekhnicheskie trebovaniya [Raw cow's milk. Technical requirements]. – Introduced. 2025–01–01. – Moscow: Standards Publishing House, 2025. – 11 p. [in Russian].
17. GOST 32940–2014. Moloko koze syroe [Raw goat's milk]. – Introduced. 2016–01–01. – Moscow: Standards Publishing House, 2016. – 9 p. [in Russian].
18. GOST 35104–2024. Moloko i molochnye produkty. Moloko verblyuzh'e syroe [Milk and dairy products. Raw camel's milk]. – Introduced. 2025–03–04. – Moscow: Standards Publishing House, 2024. – 12 p. [in Russian].

МРНТИ 65.29.31

Н. Онгарбаева<sup>1</sup> – основной автор, ©  
А.И. Изтаев<sup>2</sup>, А.Т. Киябаева<sup>3</sup>,  
М.А. Якияева<sup>4</sup>, М.Д. Кенжеходжаев<sup>5</sup>



<sup>1</sup>Д-р техн. наук, профессор, <sup>2</sup>Д-р техн. наук, профессор, академик НАН РК,  
<sup>3</sup>Докторант, <sup>4</sup>Ph.D, ассоц. профессор, <sup>5</sup>Канд. техн. наук, доцент

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-7908-5091> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-7385-482X>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-7021-0087> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-8564-2912>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-6924-4589>



<sup>1,2,3,4</sup>Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан  
<sup>5</sup>Таразский университет им. М. Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан



<sup>4</sup>[yamadina88@mail.ru](mailto:yamadina88@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/MSTV4655>

## ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ТРИТИКАЛЕВОЙ МУКИ НА ЕЁ ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И РЕОЛОГИЮ ТЕСТА

**Аннотация.** В работе представлены результаты исследования влияния дисперсного состава муки из зерна тритикале сортов Таза, Азиада и Кожа на ее химико-технологические свойства и реологические характеристики теста. Ситовой анализ показал, что фракции с размером частиц 125-190 мкм обладают повышенным содержанием белка (12,2-13,3%) и умеренным уровнем крахмала (62,3-64,5%), что способствует формированию теста с благоприятной структурой и высокими технологическими показателями. Испытания с использованием прибора Mixolab подтвердили высокую стабильность теста при замесе, хорошую водопоглощительную способность и устойчивость к механическим и термическим воздействиям. Установлены статистически значимые корреляции между размером частиц и содержанием белка ( $r = 0,85$ ), а также между содержанием крахмала и стабильностью теста ( $r = 0,78$ ). Полученные данные позволяют прогнозировать технологическое поведение муки и оптимизировать параметры ее переработки. Рекомендуется использовать фракции размером 125-190 мкм для производства хлебобулочных изделий с высокими требованиями к газодерживающей способности и стабильности теста.

**Ключевые слова:** тритикале, мука, дисперсный состав, размер частиц, белок, крахмал, реологические свойства, Mixolab, хлебопекарные свойства, корреляционный анализ.



Онгарбаева, Н. Влияние дисперсного состава тритикалевой муки на её химические показатели и реологию теста [Текст] / Н. Онгарбаева, А.И. Изтаев, А.Т. Киябаева, М.А. Якияева, М.Д. Кенжеходжаев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.47-62. <https://doi.org/10.55956/MSTV4655>

**Введение.** В условиях усиливающегося глобального продовольственного давления, вызванного ростом населения, изменением климата и нестабильностью поставок традиционных зерновых культур, международное научное сообщество все активнее обращает внимание на

альтернативные источники зернового сырья. Одним из перспективных объектов в этом контексте выступает зерно тритикале ( $\times$  *Triticosecale Wittmack*) – межродовой гибрид пшеницы (*Triticum*) и ржи (*Secale*), сочетающий в себе ряд ценных агрономических и технологических характеристик [1,2].

Тритикале унаследовало от своих родительских форм высокую биологическую продуктивность, адаптационную устойчивость к неблагоприятным климатическим и почвенным условиям, а также сбалансированный химический состав зерна, включающий повышенное содержание белка, клетчатки и биологически активных веществ [3,4]. Благодаря этим свойствам культура успешно возделывается более чем в 35 странах мира, включая Польшу, Германию, Францию, Китай, а также государства Восточной Европы, Закавказья и Центральной Азии, включая Казахстан [5,6].

Первоначально тритикале использовалось преимущественно в кормопроизводстве и технических отраслях, однако в последние десятилетия наблюдается устойчивый рост интереса к его применению в пищевой промышленности, особенно в производстве хлебобулочных изделий [7,8]. Это объясняется не только улучшенным аминокислотным профилем белка тритикале, но и выраженной ферментативной активностью зерна, способствующей активизации биохимических процессов при брожении теста, что потенциально улучшает структуру и качество хлеба.

Тем не менее, несмотря на высокий питательный и технологический потенциал, использование муки из тритикале в хлебопечении сталкивается с рядом ограничений. Одним из ключевых факторов, влияющих на пригодность муки, является ее дисперсный состав, то есть размерный состав частиц, получаемых при размоле зерна. Этот параметр определяет водопоглощающую способность муки, пластичность и реологию теста, а также пористость, цвет и объем конечных изделий [9,10]. Таким образом, фракционный состав муки играет решающую роль в оценке технологической ценности зерна тритикале.

В Казахстане тритикале постепенно входит в структуру посевных площадей, и отдельные сорта уже прошли официальное районирование. Однако системные научные данные о взаимосвязи между анатомо-морфологическими особенностями местных сортов и их мукомольными и хлебопекарными характеристиками остаются ограниченными. В частности, актуальной задачей является изучение влияния фракционного состава зерна на технологические свойства муки, включая ее поведение в тесте, что требует привлечения современных методов анализа и статистической обработки. Систематизация таких данных позволит обоснованно рекомендовать сорта тритикале для использования в пищевой промышленности и откроет новые возможности для расширения ассортимента функциональных хлебобулочных изделий.

*Цель исследования.* Оценить дисперсный состав муки из зерна тритикале различных сортов и выявить его связь с химическими характеристиками муки и реологическими свойствами теста в сортовом разрезе.

*Задачи исследования:*

1. Провести дисперсный анализ муки, полученной из зерна сортов тритикале, с использованием ситового метода.

2. Определить химический состав муки по каждой дисперсной фракции.

3. Оценить реологические характеристики теста, приготовленного из муки разных сортов тритикале.

4. Установить корреляционные зависимости между дисперсностью муки и ее химико-технологическими показателями.

5. Дать рекомендации по целевому использованию тритикалевой муки различной степени дисперсности.

*Научная новизна.* Впервые выполнен комплексный анализ взаимосвязи между дисперсным составом муки из зерна тритикале казахстанской селекции и ее химическим составом, а также реологией теста, что позволило количественно обосновать роль дисперсности как критерия хлебопекарной пригодности.

*Практическая значимость.* Полученные данные могут быть использованы для прогнозирования хлебопекарных свойств муки на основании ее дисперсного состава, а также для оптимизации технологических режимов переработки тритикале при производстве продукции заданного функционального назначения.

**Условия и методы исследования.** Объектом исследования являлась мука, полученная из зерна сортов тритикале (Таза, Азиада, Кожа), возделываемых в Казахстане. Выбор сортов обусловлен их распространенностью и потенциальной пригодностью для продовольственного использования, в частности, в хлебопекарной промышленности.

Размеры частиц муки определяли методом ситового анализа на лабораторном рассеве РЛ-3М с использованием сит с диаметром ячеек 160, 125, 100, 80, 60, 50 и 40 мкм. Мукомольные и химические показатели каждой дисперсной фракции муки оценивали в соответствии с действующими нормативными документами: влажность – по ГОСТ 9404-88, зольность – по ГОСТ 27493-87, белизну – по ГОСТ 26361-2013, число падения – по ГОСТ 30498-97, содержание и качество сырой клейковины – по ГОСТ 13586.1-2016. Химический состав муки определяли по следующим стандартам: белок – по ГОСТ 10846-91, крахмал – по ГОСТ 10865-85, жир – по ГОСТ 10857-64, сахара – по ГОСТ 26176-84, клетчатка – по ГОСТ 31675-2012. Реологические свойства теста, приготовленного из муки с различной дисперсностью, исследовали с использованием приборов Mixolab (по ISO 17718) и Альвеограф (по ГОСТ ISO 27971-2016).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для изучения влияния дисперсного состава на технологические свойства тритикалевой муки проведено ее фракционирование методом ситового анализа. Были выделены дисперсные фракции в диапазоне 40-160 мкм, по которым выполнена комплексная оценка физико-химических показателей. Дополнительно, в сортовом разрезе (Таза, Азиада, Кожа), исследованы реологические свойства теста, что позволило оценить вклад дисперсности муки в формирование хлебопекарных характеристик. Влияние размера частиц муки на ее функциональные свойства, включая цветовой показатель, содержание клейковины и ее качество, а также реологические характеристики теста, подтверждено в ряде исследований [11,12]. Так, с уменьшением размера частиц муки ее цветовой показатель увеличивается, а количество клейковины и ее показатель ИДК снижаются, что влияет на хлебопекарные свойства муки.

Следовательно, исследование дисперсного состава муки позволяет более глубоко понять механизмы формирования ее технологических характеристик и определить ее пригодность для целевого использования [13,14].

На предварительном этапе зерно тритикале отобранных сортов подвергли лабораторному помолу на установке МЛУ-202. Полученную муку охарактеризовали по ключевым показателям качества. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели качества муки из зерна тритикале

Показатель	Сорта		
	Таза	Азиада	Кожа
Влажность, %	14,6	14,8	15,0
Количество сырой клейковины, %	28,2	24,3	17,8
Качество клейковины ИДК, ед. пр.	86	90	101
Крупность помола (сход с сита №43)	6,75	10,25	10,75
Зольность, %	0,78	0,78	0,86
Число падения, с	116,3	106	90,3

Анализ данных таблицы 1 показал, что мука из зерна сорта Таза характеризуется наилучшими показателями: высоким содержанием сырой клейковины (28,2%), ее оптимальным качеством (ИДК – 86 ед.), низкой зольностью (0,78%) и высокой белизной (49,5 усл. ед.).

Мука сорта Азиада продемонстрировала удовлетворительные параметры: содержание сырой клейковины – 24,3%, ИДК – 90 ед., зольность – 0,78%, белизна – 47,8 усл. ед.

Для муки сорта Кожа зафиксированы сниженные технологические характеристики: содержание сырой клейковины – 17,8%, ИДК – 101 ед., повышенная зольность (0,86%) и пониженная белизна (46,5 усл. ед.).

Значения числа падения варьировали от 116,3 с (сорт Таза) до 90,3 с (сорт Кожа), отражая различия в активности амилазных комплексов.

На следующем этапе исследования с использованием ситового анализа произведено фракционирование муки по дисперсному составу с выделением фракций размером 260, 190, 160, 125, 100, 80, 60, 50 и 40 мкм. Показатели качества указанных фракций для каждого сорта тритикале представлены в таблицах 2, 3 и 4 соответственно.

Таблица 2

Показатели качества дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта Таза

Показатель качества муки	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Влажность, %	14,10	14,13	14,28	14,25	14,60	14,38	14,38	14,10	13,95
Зольность, %	0,75	0,74	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79	0,79	0,78
Белизна, усл.ед.	54	56	56	55	53	52	51	52	51
Число падения, с	166	171	170	158	146	144	138	137	131
Количество сырой клейковины, %	17,4	19,1	17,2	17,0	16,4	15,3	13,9	10,6	9,8
(ИДК) ед. приб.	86	86	85	85	86	87	88	88	89

Результаты анализа дисперсных фракций муки сорта Таза (табл. 2) показывают, что с уменьшением размера частиц наблюдается постепенное снижение зольности (от 0,79 до 0,74%) и белизны (от 56 до 51 усл. ед.), что обусловлено увеличением доли периферийных частей зерна в мелких дисперсных фракциях. Наибольшее количество сырой клейковины зафиксировано у фракций 190 мкм (19,1%) и 260 мкм (17,4%), при этом отмечается закономерное ее снижение до 9,8% у наиболее дисперсных фракций (40 мкм). Показатель ИДК варьирует от 85 до 89 ед., демонстрируя ослабление клейковинного каркаса по мере уменьшения размера частиц. Число падения убывает с 171 до 131 с, что свидетельствует об увеличении активности  $\alpha$ -амилазы в более тонких фракциях. Оптимальные хлебопекарные характеристики, сочетающие высокое содержание и качество клейковины, а также сбалансированную ферментативную активность, выявлены в фракциях 125-190 мкм, что подтверждает их наибольшую технологическую ценность.

Таблица 3

Показатели качества дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта Азиада

Показатель качества муки	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Влажность, %	14,13	14,28	14,25	14,30	14,98	14,20	14,23	14,10	14,15
Зольность, %	0,76	0,75	0,75	0,74	0,76	0,77	0,77	0,78	0,78
Белизна, усл. ед.	54	55	55	55	55	47	49	37	36
Число падения, с	168	165	169	154	147	144	140	136	130
Количество сырой клейковины, %	16,0	16,8	16,3	17,2	15,1	13,9	11,7	10,6	10,0
(ИДК), ед. приб.	88	86	86	88	89	90	92	89	90

Анализ представленных в таблице 3 данных позволяет охарактеризовать качественные параметры дисперсных фракций муки, полученной из зерна сорта тритикале Азиада, в контексте их технологической пригодности. Во всех фракциях отмечается стабильный уровень влажности, варьирующий от 14,10% до 14,98%, что соответствует нормативным требованиям. Зольность постепенно увеличивается от более крупных фракций (0,75-0,76%) к мелким (до 0,78%). Белизна муки снижается с уменьшением размера частиц: от 55 усл. ед. в диапазоне 160-125 мкм до 36 усл. ед. в дисперсной фракции 40 мкм. Это свидетельствует о росте доли пигментированных частиц оболочек в мелкой дисперсной муке. Число падения, отражающее ферментативную активность, закономерно снижается от 168 с в крупной фракции (260 мкм) до 130 с в наиболее мелкой (40 мкм), что может быть связано с увеличением активности амилазы в оболочечном материале.

Таблица 4 характеризует качественные параметры дисперсных фракций муки, полученной из зерна сорта тритикале Кожа, отличающегося сниженной хлебопекарной ценностью по сравнению с другими исследованными сортами.

Влажность варьирует в диапазоне 13,2-14,5%, оставаясь в пределах допустимых норм, что свидетельствует о стабильности условий хранения и подготовки пробы. Зольность колеблется в узких пределах (0,73-0,77%), что указывает на равномерное распределение оболочечных элементов по

фракциям. Белизна муки уменьшается с уменьшением размера частиц – от 57 усл. ед. (260 мкм) до 43 усл. ед. (40 мкм). Число падения изменяется от 164 до 136 с, указывая на рост ферментативной активности в тонкодисперсной муке, связанный с повышенной концентрацией периферийных структур зерна. Максимальное содержание сырой клейковины (16,3%) выявлено во фракции 160 мкм, при этом в мелких фракциях (60-40 мкм) оно снижается до 9,8%. Качество клейковины по ИДК варьирует в пределах 94-101 усл. ед., что соответствует слабой клейковине (II-III группа). Дисперсные фракции с размерами 125-190 мкм можно рассматривать как наиболее пригодные для хлебопекарных целей благодаря оптимальному сочетанию зольности, содержанию и качеству клейковины, а также значению числа падения, удовлетворяющему технологическим требованиям.

Таблица 4

Показатели качества дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта  
Кожа

Показатель качества муки	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Влажность, %	14,1	13,6	14,2	13,2	14,5	14,4	13,5	13,5	13,6
Зольность, %	0,77	0,75	0,74	0,73	0,76	0,76	0,77	0,76	0,74
Белизна, усл. ед.	57	55	53	54	47	46	45	45	43
Число падения, с	164	166	159	152	142	140	139	138	136
Количество сырой клейковины, %	15,5	16,2	16,3	16,2	16,0	15,1	11,6	10,9	9,8
(ИДК), ед приб.	98	95	94	99	100	101	101	100	101

После оценки технологических показателей муки, полученной из различных фракций, проведен анализ их химического состава, включающий содержание белка, крахмала, жира, клетчатки и сахаров. Полученные данные представлены в таблицах 5, 6 и 7 соответственно для сортов Таза, Азида и Кожа.

Таблица 5

Химический состав дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта Таза

Показатель	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Белок, %	13,31	13,34	12,96	12,32	12,00	11,96	11,82	11,82	11,74
Крахмал, %	61,5	62,3	63,4	64,1	64,9	66,3	66,8	68,7	70,4
Жир, %	1,38	0,98	1,32	1,01	0,86	0,63	0,53	0,47	0,30
Сахара, %	2,10	2,13	2,12	2,11	1,89	2,30	1,00	0,89	0,71
Клетчатка, %	0,50	0,50	0,48	0,45	0,46	0,36	0,33	0,38	0,28

Таблица 5 отражает изменения химического состава муки из зерна сорта Таза в зависимости от размера частиц. С уменьшением дисперсности наблюдается снижение содержания белка (от 13,34% до 11,74%) и клетчатки (от 0,50% до 0,28%), при одновременном увеличении доли крахмала (от 61,5% до 70,4%). Показатели содержания жира и сахаров также снижаются в более тонких фракциях. Углеводный профиль (сахара) варьирует от 2,13% до 0,71%, при этом пики наблюдаются в фракциях 190-125 мкм, тогда как фракции  $\leq 60$  мкм характеризуются минимальными значениями. По совокупности показателей фракции с размерами 190-125 мкм демонстрируют

оптимальное соотношение белка и крахмала, что делает их наиболее пригодными для хлебопекарного использования.

Таблица 6

Химический состав дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта Азиада

Показатель	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Белок, %	13,21	13,25	13,17	13,08	12,83	12,47	11,42	11,40	11,11
Крахмал, %	61,4	61,8	62,9	64,5	64,8	65,2	66,3	67,0	68,2
Жир, %	1,27	1,23	1,29	1,21	0,92	0,66	0,60	0,49	0,33
Сахара, %	2,12	2,08	2,08	2,05	1,14	1,12	0,90	0,75	0,72
Клетчатка, %	0,49	0,43	0,37	0,33	0,26	0,22	0,22	0,21	0,18

Данные таблицы 6 свидетельствуют о четко выраженной зависимости химического состава муки от размера частиц. С уменьшением дисперсности наблюдается закономерное снижение содержания белка – от 13,25% в фракции 190 мкм до 11,11% в 40 мкм. Одновременно увеличивается доля крахмала – с 61,4% до 68,2%, что обусловлено концентрацией эндосперма в мелкодисперсных фракциях.

Содержание жира и сахаров также демонстрирует убывающую тенденцию: уровень жира снижается с 1,27% до 0,33%, а сахаров – с 2,12% до 0,72%. Эти изменения отражают уменьшение содержания зародышевых и алейроновых структур в более тонких фракциях. Клетчатка также уменьшается с 0,49% до 0,18%, что свидетельствует об очищенности мелких фракций от оболочечных частиц. Дисперсные фракции с размером частиц муки 190-125 мкм характеризуются оптимальным соотношением белка и крахмала при умеренном содержании сопутствующих веществ, что делает их наиболее пригодными для хлебопекарного применения.

Таблица 7

Химический состав дисперсных фракций муки из зерна тритикале сорта Кожа

Показатель	Размеры частицы муки, мкм								
	260	190	160	125	100	80	60	50	40
Белок, %	12,31	12,38	12,35	12,20	11,37	11,13	10,32	10,05	9,33
Крахмал, %	61,7	62,5	63,2	63,8	65,7	67,7	68,2	69,8	70,1
Жир, %	1,31	1,32	1,25	1,22	1,06	0,92	0,58	0,44	0,37
Сахара, %	2,16	2,12	2,09	2,02	1,14	0,96	0,82	0,75	0,69
Клетчатка, %	0,81	0,94	0,79	0,74	0,64	0,58	0,52	0,48	0,45

Данные таблицы 7 отражают изменение химического состава дисперсных фракций муки, полученной из зерна тритикале сорта Кожа, в зависимости от размера частиц. С уменьшением дисперсности наблюдается четко выраженное снижение содержания белка: от 12,38% в фракции 190 мкм до 9,33% в дисперсной фракции 40 мкм, что свидетельствует о смещении основного белкового компонента к более крупным фракциям. Параллельно прослеживается нарастающий тренд содержания крахмала, достигающий 70,1% в самой мелкой фракции (40 мкм), что обусловлено обогащением эндоспермом и снижением доли оболочечных структур.

Содержание жира также уменьшается от 1,32% до 0,37%, а уровень сахаров – с 2,16% до 0,69%, что может быть связано с локализацией липидно-сахарного комплекса в периферийных слоях зерна.

Клетчатка убывает от 0,94% до 0,45%, что подтверждает высокую степень очистки мелкодисперсных фракций от отрубных включений. Наиболее сбалансированное соотношение белка, крахмала и сопутствующих компонентов наблюдается в диапазоне 190-125 мкм, что позволяет рассматривать данные фракции в качестве предпочтительных для хлебопекарного применения при условии оптимизации технологических параметров сортового помола.

В целях установления количественных взаимосвязей между химическим и технологическим составом дисперсных фракций муки проведен корреляционно-регрессионный анализ по выборке значений, относящихся к диапазону размеров частиц 125-190 мкм.

В качестве переменных использованы показатели, отражающие содержание белка ( $X_1$ ) и крахмала ( $X_2$ ), а также технологические характеристики муки – содержание сырой клейковины ( $Y_1$ ), число падения ( $Y_2$ ) и зольность ( $Y_3$ ).

По результатам анализа установлены следующие уравнения линейной регрессии:

- $Y_1 = 1,2 \times X_1 + 2,5$  – взаимосвязь между содержанием белка и количеством сырой клейковины;
- $Y_2 = 10 \times X_1 - 50$  – зависимость числа падения от содержания белка;
- $Y_3 = -0,01 \times X_2 + 1$ , – взаимосвязь между содержанием крахмала и зольностью муки.

Анализ полученных уравнений показал, что увеличение содержания белка в дисперсных фракциях положительно влияет на улучшение хлебопекарных параметров муки, в том числе на содержание клейковины и число падения, что указывает на снижение активности  $\alpha$ -амилазы [15,16]. При этом рост доли крахмала в более мелкодисперсных фракциях сопровождается незначительным снижением зольности, что подтверждает преимущественную концентрацию эндосперма в этих фракциях.

Полученные зависимости позволяют прогнозировать технологические характеристики муки на основе ее химического состава и могут быть использованы при оптимизации режимов сортового помола зерна тритикале, ориентированной на получение продуктов, соответствующих требованиям хлебопекарного производства.

С целью комплексной оценки технологической пригодности муки, помимо анализа ее дисперсного состава, технологических и химических показателей, проведено исследование реологических свойств теста, приготовленного из зерна сортов тритикале. В качестве объекта детального анализа выбрана мука сорта Таза, продемонстрировавшая наиболее устойчивые и выраженные хлебопекарные свойства по совокупности ранее полученных характеристик.

Данные таблицы 8 отражают параметры реологического поведения теста из муки сорта тритикале Таза, полученные с использованием прибора Mixolab. Максимальный крутящий момент в точке C1 (1,132 Н·м) зафиксирован в начале замеса, что свидетельствует о высокой водопоглотительной способности и прочности клейковинного каркаса.

Таблица 8

Параметры реологического профиля теста и угловые коэффициенты скоростей изменений по данным Mixolab для сорта тритикале Таза

Показатель	Время, (мин)	Крутящий момент, (Н·м)	Температура теста (°C)	Амплитуда, (Н·м)	Стабильность
C1	0,83	1,132	29,0	0,063	2,00
CS	8,00	0,586	30,4		9,1
C2	18,22	0,268	59,4		
C3	24,55	1,713	79,2		
C4	35,00	1,125	76,5		
C5	45,00	1,556	55,8		
Угловые коэффициенты, Н·м/мин					
$\alpha = -0,038$ Н·м/мин		$\beta = 0,726$ Н·м/мин		$\gamma = -0,076$ Н·м/мин	

Стабильность теста составила 2,00 мин, указывая на его ограниченную устойчивость к механическим воздействиям на этапе замеса. Минимальное значение крутящего момента на этапе прогрева (C2) – 0,268 Н·м при температуре 59,4°C – демонстрирует интенсивную денатурацию белков. Пиковое значение (C3 = 1,713 Н·м) при 79,2°C свидетельствует о полноценной желатинизации крахмала. В точке C4 (1,125 Н·м) наблюдается снижение вязкости вследствие активности амилолитических ферментов, продолжающееся до C5 (1,556 Н·м) на фоне частичной ретроградации крахмала.

Анализ угловых коэффициентов показывает:

- $\alpha = -0,038$  Н·м/мин – отражает разрушение белковой структуры при нагревании;
- $\beta = 0,726$  Н·м/мин – указывает на высокую скорость набухания крахмала;
- $\gamma = -0,076$  Н·м/мин – свидетельствует об умеренной ферментативной активности.

На основании результатов, представленных в таблице 8, был сформирован реологический профиль муки из сорта тритикале Таза. На рисунках 1 и 2 приведены соответствующие миксограммы и радиальные диаграммы, отражающие кинетику и степень выраженности ключевых технологических параметров в процессе замеса и термообработки теста.

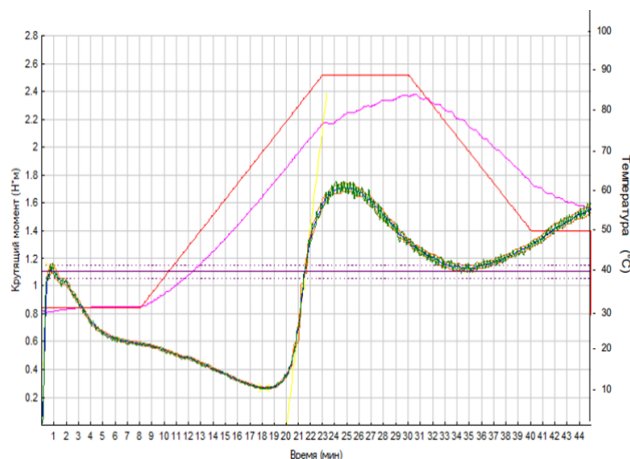


Рис. 1. Кривая миксограммы теста из муки сорта Таза, полученная с использованием прибора Mixolab

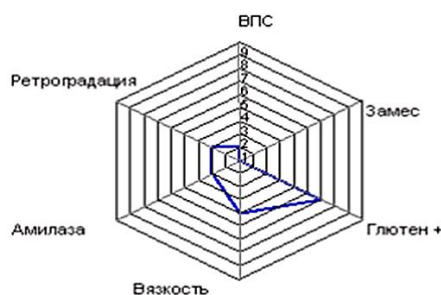


Рис. 2. Радиационная диаграмма реологических свойств теста из муки сорта Таза (Mixolab Profile Index)

Комплекс полученных данных подтверждает хорошую технологическую пригодность муки сорта Таза для хлебопекарного использования, благодаря сбалансированному взаимодействию белково-крахмальной и ферментной систем.

Сравнительный анализ структуры и качества муки сорта Азиада позволил отнести ее к категории с удовлетворительными хлебопекарными свойствами. Для уточнения технологической оценки и выявления особенностей поведения теста при механической и термической нагрузке выполнено исследование его реологических параметров на приборе Mixolab (табл. 9).

Таблица 9

Параметры реологического профиля теста и угловые коэффициенты скоростей изменений по данным Mixolab для сорта тритикале Азиада

Показатель	Время, (мин)	Крутящий момент, (Н·м)	Температура теста (С°)	Амплитуда, (Н·м)	Стабильность
С1	1,25	1,069	30,3	0,067	3,00
С5	8,00	0,609	31,0		8,6
С2	17,73	0,287	57,3		
С3	23,97	2,021	77,7		
С4	35,85	1,111	75,2		
С5	45,05	1,414	56,0		
Угловые коэффициенты, Н·м/мин					
$\alpha = -0,040$ Н·м/мин		$\beta = 0,796$ Н·м/мин		$\gamma = -0,110$ Н·м/мин	

Таблица 9 отражает реологические параметры теста, приготовленного из муки сорта тритикале Азиада, полученные при испытаниях на приборе Mixolab. Начальный крутящий момент на этапе С1 составил 1,069 Н·м при температуре теста 30,3°С, что свидетельствует о хорошей водопоглотительной способности муки. Амплитуда замеса достигала 0,067 Н·м при стабильности 3 минуты, что указывает на удовлетворительную устойчивость теста при механическом воздействии. Минимальное значение крутящего момента на стадии разрушения клейковины (С2) зафиксировано на уровне 0,287 Н·м, отражая среднюю силу глютенowego каркаса. Максимальное значение вязкости крахмала (С3) составило 2,021 Н·м, что свидетельствует о высоком уровне желатинизации. В точке С4 наблюдается частичное снижение вязкости до 1,111 Н·м, обусловленное деструкцией

крахмала. Финальное значение (C5) – 1,414 Н·м – характеризует способность теста к ретроградации.

Расчетные угловые коэффициенты:

- $\alpha = -0,040$  Н·м/мин – отражает интенсивность разрушения белкового каркаса при нагревании;
- $\beta = 0,796$  Н·м/мин – характеризует скорость желатинизации крахмала;
- $\gamma = -0,110$  Н·м/мин – указывает на темп снижения вязкости при охлаждении.

Полученные значения демонстрируют сбалансированное соотношение между амилитической активностью, крахмальной вязкостью и структурной устойчивостью теста, что указывает на приемлемую технологическую пригодность муки сорта Азиада для хлебопекарного использования.

Учитывая пониженные показатели качества муки из сорта Кожа, полученные на предыдущих этапах анализа, особый интерес представляет исследование ее реологических характеристик, позволяющее оценить влияние дисперсного состава и функциональных компонентов на формирование тестовых структур (табл. 10).

Таблица 10

Параметры реологического профиля теста и угловые коэффициенты скоростей изменений по данным Мiхolab для сорта тритикале Кожа

Показатель	Время, (мин)	Крутящий момент, (Н·м)	Температура тесто (С°)	Амплитуда, (Н·м)	Стабильность
C1	1,15	1,098	31,0	0,055	1,90
CS	8,00	0,645	31,3		8,4
C2	18.73	0.270	58.4		
C3	25.57	1.893	78.9		
C4	37.02	1.070	72.4		
C5	45.02	1.294	56.7		
Угловые коэффициенты, Н·м/мин					
$\alpha = -0,046$ Н·м/мин		$\beta = 0,620$ Н·м/мин		$\gamma = -0,098$ Н·м/мин	

Таблица 10 представляет данные реологического профиля теста из муки сорта тритикале Кожа, полученные с использованием прибора Мiхolab. Начальная фаза замеса (C1) характеризуется крутящим моментом 1,098 Н·м при температуре теста 31,0°С и амплитуде 0,055 Н·м, что отражает сравнительно низкую водопоглощающую способность. Стабильность теста составила 1,90 минуты, что указывает на ограниченную механическую устойчивость при замесе. Минимальное значение крутящего момента в точке C2 – 0,270 Н·м, фиксируется на 18,73-й минуте при температуре 58,4°С и свидетельствует о слабой прочности клейковинного каркаса. Пик вязкости (C3) отмечен на уровне 1,893 Н·м, что указывает на умеренную способность крахмала к набуханию и желатинизации. На этапе термодеструкции (C4) наблюдается снижение вязкости до 1,070 Н·м. Финальное значение (C5) – 1,294 Н·м, отражающее ретроградацию крахмала, остается ниже по сравнению с сортами Таза и Азиада.

Угловые коэффициенты:

- $\alpha = -0,046$  Н·м/мин – скорость разрушения клейковины, более выраженная по сравнению с другими сортами;
- $\beta = 0,620$  Н·м/мин – указывает на умеренный темп крахмальной желатинизации;

–  $\gamma = -0,098$  Н·м/мин – отражает снижение вязкости в процессе охлаждения, ассоциированное с ограниченным восстановлением структуры.

Таким образом, сорт Кожа демонстрирует менее выраженные реологические характеристики, ограничивающие его хлебопекарную пригодность без соответствующей технологической корректировки.

**Заключение.** Проведенный ситовой анализ муки из зерна тритикале сортов Таза, Азиада и Кожа показал, что фракции с размером частиц 125-190 мкм характеризуются повышенным содержанием белка (12,2-13,3%) и умеренным уровнем крахмала (62,3-64,5%). Это способствует формированию теста с благоприятной структурой и хорошими реологическими свойствами. Исследование реологических характеристик теста с использованием прибора *Mixolab* выявило, что мука данной фракции обладает высокой стабильностью при замесе и оптимальными показателями клейстеризации крахмала. Параметры крутящего момента в точках С1–С5 свидетельствуют о высокой водопоглощительной способности и устойчивости теста к механическим и термическим воздействиям, что подтверждает его пригодность для хлебопекарного производства. Установлены статистически значимые корреляционные зависимости между размером частиц муки и ее химико-технологическими свойствами. Отмечена положительная корреляция между содержанием белка и числом падения ( $r = 0,85$ ), а также между содержанием крахмала и стабильностью теста ( $r = 0,78$ ). Полученные зависимости позволяют прогнозировать поведение теста в процессе переработки и оптимизировать параметры технологического процесса. На основании полученных данных рекомендуется использовать фракции муки с размером частиц 125-190 мкм для производства хлебобулочных изделий, требующих высокой газодерживающей способности и стабильности теста. Мелкие фракции (менее 125 мкм) обладают менее благоприятными технологическими характеристиками. Проведенное исследование подтвердило значительное влияние дисперсного состава муки из зерна тритикале на ее химические и технологические свойства. Определены оптимальные фракции для хлебопекарного производства, выявлены корреляционные зависимости между размером частиц и ключевыми показателями качества муки и теста, что позволяет рекомендовать направления для дальнейшей оптимизации процессов переработки тритикалевой муки.

#### Список литературы

1. Онгарбаева, Н.О. Сравнительный анализ и перспективы применения в мукомольной промышленности зерна тритикале казахстанской селекции [Текст] / Н.О. Онгарбаева, Е.Н. Урбанчик, А.Т. Киябаева // Техника и технология пищевых производств: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус. гос. ун-т пищ. и хим. технологий, 2025. – С. 102-103.
2. Ghendov-Mosanu A., Popa N., Paiu S., Boestean O., Bulgaru V., Leatamborg S., Lupascu G., Codină G.G. Breadmaking quality parameters of different varieties of triticale cultivars // Foods. – 2024. – Vol. 13, No. 11. – P. 1671.
3. Warechowska M., Warechowski J., Stępień A., Wojtkowiak K. Effect of the size of triticale kernel on milling energy consumption, flour yield and granulometric composition of flour // Polish Journal of Natural Sciences. – 2016. – Vol. 31, No. 3. – P. 433-444.
4. Watanabe E., Antunes K., Kitzberger C.S.G., Coelho A.R. Physico-chemical properties and milling behavior of modern triticale genotypes // LWT – Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 101. – P. 1-7.

5. Мелешкина, Е.П. Оценка качества зерна тритикале [Текст] / Е.П. Мелешкина, И.А. Панкратьева, О.В. Политуха, Л.В. Чиркова, Н.С. Жильцова // Хлебопродукты. – 2015. – № 2. – С. 48-49.
6. Шишлова, Н.П. Характеристика хлебопекарного потенциала тритикале по результатам лабораторной печи [Текст] / Н.П. Шишлова, В.Н. Буштевич, Т.П. Шемпель [и др.] // Сельское хозяйство и селекция Беларуси. – 2017. – № 53. – С. 181-189.
7. Панкратов, Г.Н. Исследование процесса измельчения зерна тритикале [Текст] / Г.Н. Панкратов, Р.Х. Кандроков, Е.В. Щербакова // Хлебопродукты. – 2016. – № 10. – С. 59-61.
8. Панкратов, Г.Н. Технологические свойства новых сортов тритикалевой муки [Текст] / Г.Н. Панкратов, Е.П. Мелешкина, Р.Х. Кандроков, И.С. Витол // Хлебопродукты. – 2016. – № 1. – С. 60-62.
9. Мелешкина, Е.П. Качество зерна тритикале [Текст] / Е.П. Мелешкина, И.А. Панкратьева, О.В. Политуха, Л.В. Чиркова, Н.С. Жильцова // Хлебопродукты. – 2015. – № 7. – С. 31-32.
10. Цедик, О.Д. Химический состав новых сортов муки [Текст] / О.Д. Цедик, Л.В. Рукшан, Н.О. Онгарбаева // Техника и технология пищевых производств: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус. гос. ун-т пищ. и хим. технологий, 2025. – С. 132-133.
11. Жанабаева, К.К. Реологические свойства теста из тритикалевой муки [Текст] / К.К. Жанабаева, Н.О. Онгарбаева, Л.В. Рукшан, А.М. Саидов // Механика и технологии. – 2019. – № 1 (63). – С. 26-32.
12. Туляков, Д.Г. Оценка муки из зерна тритикале на основе реологических свойств с использованием системы Миксолаб [Текст] / Д.Г. Туляков, Е.П. Мелешкина, И.С. Витол, Г.Н. Панкратов, Р.Х. Кандроков // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2017. – № 1. – С. 20-23.
13. Шишлова, Н.П. Миксографический анализ теста из муки озимого тритикале [Текст] / Н.П. Шишлова // Физиология растений и генетика. – 2016. – Т. 48, № 6. – С. 488-497.
14. Урбанчик, Е.Н. Изучение комплекса хозяйственно-ценных признаков озимой тритикале казахстанской селекции [Текст] / Е.Н. Урбанчик, А.Т. Киябаева, Н.О. Онгарбаева // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов XII Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов. – Могилев: Белорус. гос. ун-т пищ. и хим. технологий, 2021. – С. 63.
15. Урбанчик Е.Н. Химический и аминокислотный состав озимой тритикале казахстанской селекции [Текст] / Е.Н. Урбанчик, Н.О. Онгарбаева, А.Т. Киябаева, М.Н. Галдова // Техника и технология пищевых производств: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев: Белорус. гос. ун-т пищ. и хим. технологий, 2022. – С. 107-108.
16. Онгарбаева Н.О. Физико-химические показатели зерна тритикале казахстанской селекции [Текст] / Н.О. Онгарбаева, А.Н. Елгонова, Ж.К. Кажикенова // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия аграрных наук. – 2015. – № 4 (28). – С. 52-56.

*Исследования выполнены в рамках проекта BR22886613 «Разработка инновационных технологий по переработке и хранению сельскохозяйственной растениеводческой продукции и сырья» (проект №9-2024/2026 «Разработка инновационной технологии хранения и переработки различных сортов тритикале в высокоэффективную продукцию зерноперерабатывающей отрасли», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 27.05.25, принят 18.09.25.*

Н. Онгарбаева<sup>1</sup>, А.И. Изтаев<sup>1</sup>, А.Т. Киябаева<sup>1</sup>,  
М.А. Якияева<sup>1</sup>, М.Д. Кенжеходжаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан  
<sup>2</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

### ТРИТИКАЛЕ ҰНЫНЫҢ ДИСПЕРСТІ ҚҰРАМЫНЫҢ ОНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ЖӘНЕ ҚАМЫР РЕОЛОГИЯСЫНА ӘСЕРІ

**Аңдатпа.** Мақалада Таза, Азиада және Кожа сорттарынан алынған тритикале ұнының дисперстік құрамының оның химиялық-технологиялық қасиеттері мен қамырдың реологиялық сипаттамаларына әсері зерттеледі. Елеуіштік талдау нәтижесінде бөлшек өлшемі 125-190 мкм болатын фракциялар құрамында ақуыздың жоғары мөлшері (12,2-13,3%) және крахмалдың орташа деңгейі (62,3-64,5%) анықталып, бұл қамырдың қолайлы құрылымы мен жоғары технологиялық қасиеттерінің қалыптасуына ықпал етеді. Mixolab аспабымен жүргізілген сынақтар қамырдың илеу кезіндегі тұрақтылығының жоғары екенін, суды сіңіру қабілетінің жақсы екенін және механикалық әрі термиялық әсерлерге төзімді екенін көрсетті. Ұн бөлшектерінің өлшемі мен ақуыз мөлшері ( $r = 0,85$ ), сондай-ақ крахмал мөлшері мен қамыр тұрақтылығы ( $r = 0,78$ ) арасында статистикалық тұрғыдан мәнді корреляциялық анықталды. Алынған нәтижелер ұнның технологиялық мінез-құлқын болжауға және оны өңдеу параметрлерін оңтайландыруға мүмкіндік береді. 125-190 мкм өлшемді фракцияларды газ ұстау қабілеті және қамыр тұрақтылығы жоғары нан өнімдерін өндіруге қолдану ұсынылады.

**Тірек сөздер:** тритикале, ұн, дисперстік құрамы, бөлшек өлшемі, ақуыз, крахмал, реологиялық қасиеттер, Mixolab, наубайхана қасиеттері, корреляциялық талдау.

N. Ongarbayeva<sup>1</sup>, A.I. Iztayev<sup>1</sup>, A.T. Kiyabayeva<sup>1</sup>,  
M.A. Yakiyayeva<sup>1</sup>, M.D. Kenzhokhojayev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan  
<sup>2</sup>M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

### THE INFLUENCE OF THE DISPERSED COMPOSITION OF TRITICALE FLOUR ON ITS CHEMICAL PROPERTIES AND DOUGH RHEOLOGY

**Abstract.** This study investigates the effect of the particle size distribution of flour from Taza, Aziada, and Kozha triticale varieties on its chemical-technological properties and the rheological characteristics of dough. Sieve analysis revealed that flour fractions with particle sizes of 125-190  $\mu\text{m}$  contain elevated protein levels (12.2-13.3%) and moderate starch content (62.3-64.5%), which contribute to the formation of dough with favorable structure and high technological performance. Tests using the Mixolab device confirmed the high dough stability during kneading, good water absorption capacity, and resistance to mechanical and thermal stresses. Statistically significant correlations were found between particle size and protein content ( $r = 0.85$ ), as well as between starch content and dough stability ( $r = 0.78$ ). The results allow for predicting flour behavior during processing and optimizing technological parameters. It is recommended to use 125-190  $\mu\text{m}$  fractions for the production of bakery products requiring high gas retention and dough stability.

**Keywords:** triticale, flour, particle size distribution, particle size, protein, starch, rheological properties, Mixolab, baking quality, correlation analysis.

### References

1. Ongarbaeva N.O., Urbanchik E.N., Kiyabaeva A.T. Sravnitel'nyy analiz i perspektivy primeneniya v mukomol'noy promyshlennosti zerna tritikale kazakhstanskoy selektsii [Comparative analysis and prospects of using triticale grain of Kazakhstan breeding in the flour-milling industry] // *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Equipment and Technology of Food Production]: Proceedings of the 16th International Scientific and Technical Conference. – Mogilev: Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, 2025. – P. 102-103. [in Russian].
2. Ghendov-Mosanu A., Popa N., Paiu S., Boestean O., Bulgaru V., Leatamborg S., Lupascu G., Codină G.G. Breadmaking quality parameters of different varieties of triticale cultivars // *Foods*. – 2024. – Vol. 13, No. 11. – P. 1671.
3. Warechowska M., Warechowski J., Stepien A., Wojtkowiak K. Effekt rozmera zerna tritikale na energiyu pomola, vykhod muki i granulometricheskiiy sostav muki // *Polish Journal of Natural Sciences*. – 2016. – Vol. 31, No. 3. – P. 433-444.
4. Watanabe E., Antunes K., Kitzberger C.S.G., Coelho A.R. Fiziko-khimicheskiye svoystva i povedenie pri pomole sovremennykh genotipov tritikale // *LWT – Food Science and Technology*. – 2019. – Vol. 101. – P. 1-7.
5. Meleshkina E.P., Pankrat'eva I.A., Politukha O.V., Chirkova L.V., Zhil'tsova N.S. Otsenka kachestva zerna tritikale [Quality assessment of triticale grain] // *Bakery Products*. – 2015. – No. 2. – P. 48-49. [in Russian].
6. Shishlova N.P., Bushtevich V.N., Shempel T.P. et al. Kharakteristika khlebopekarnogo potentsiala tritikale po rezul'tatam laboratornoy pechi [Characteristics of the baking potential of triticale based on laboratory oven tests] // *Agriculture and Breeding of Belarus*. – 2017. – No. 53. – P. 181-189. [in Russian].
7. Pankratov G.N., Kandrov R.Kh., Shcherbakova E.V. Issledovaniye protsessa izmel'cheniya zerna tritikale [Study of the grinding process of triticale grain] // *Bakery Products*. – 2016. – No. 10. – P. 59-61. [in Russian].
8. Pankratov G.N., Meleshkina E.P., Kandrov R.Kh., Vitol I.S. Tekhnologicheskiye svoystva novykh sortov tritikalevoy muki [Technological properties of new varieties of triticale flour] // *Bakery Products*. – 2016. – No. 1. – P. 60-62. [in Russian].
9. Meleshkina E.P., Pankrat'eva I.A., Politukha O.V., Chirkova L.V., Zhil'tsova N.S. Kachestvo zerna tritikale [Quality of triticale grain] // *Bakery Products*. – 2015. – No. 7. – P. 31-32. [in Russian].
10. Tsedik O.D., Rukshan L.V., Ongarbaeva N.O. Khimicheskiy sostav novykh sortov muki [Chemical composition of new flour varieties] // *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Equipment and Technology of Food Production]: Proceedings of the 16th International Scientific and Technical Conference. – Mogilev: Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, 2025. – P. 132-133. [in Russian].
11. Zhanabaeva K.K., Ongarbaeva N.O., Rukshan L.V., Saidov A.M. Reologicheskiye svoystva testa iz tritikalevoy muki [Rheological properties of dough made from triticale flour] // *Mechanics and Technologies*. – 2019. – No. 1 (63). – P. 26-32. [in Russian].
12. Tulyakov D.G., Meleshkina E.P., Vitol I.S., Pankratov G.N., Kandrov R.Kh. Otsenka muki iz zerna tritikale na osnove reologicheskikh svoystv s ispol'zovaniyem sistemy Miksolab [Evaluation of triticale flour based on rheological properties using the Mixolab system] // *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*. – 2017. – No. 1. – P. 20-23. [in Russian].
13. Shishlova N.P. Miksograficheskiy analiz testa iz muki ozimogo tritikale [Mixographic analysis of dough made from winter triticale flour] // *Plant Physiology and Genetics*. – 2016. – Vol. 48, No. 6. – P. 488-497. [in Russian].
14. Urbanchik E.N., Kiyabaeva A.T., Ongarbaeva N.O. Izucheniye kompleksa khozyaystvenno-tsennykh priznakov ozimoy tritikale kazakhstanskoy selektsii

- [Study of economically valuable traits of winter triticale of Kazakhstan breeding] // *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]: Abstracts of the 12th International Scientific Conference of Students and Postgraduates.* – Mogilev: Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, 2021. – P. 63. [in Russian].
15. Urbanchik E.N., Ongarbaeva N.O., Kiyabaeva A.T., Galdova M.N. *Khimicheskiy i aminokislotnyy sostav ozimoy tritikale kazakhstanskoy seleksii [Chemical and amino acid composition of winter triticale of Kazakhstan breeding] // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]: Proceedings of the 14th International Scientific and Technical Conference.* – Mogilev: Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, 2022. – P. 107-108. [in Russian].
  16. Ongarbaeva N.O., Elgonova A.N., Kazhikenova Zh.K. *Fiziko-khimicheskiye pokazateli zerna tritikale kazakhstanskoy seleksii [Physico-chemical indicators of triticale grain of Kazakhstan breeding] // Proceedings of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Agricultural Sciences.* – 2015. – No. 4 (28). – P. 52-56. [in Russian].

FTAMP 65.33.29

Г.Е. Аубакирова<sup>1</sup> – негізгі автор, | ©  
А.Т. Бекболатова<sup>2</sup>, А.А. Кульписова<sup>3</sup>



<sup>1</sup>Аға оқытушы, <sup>2</sup>PhD, аға оқытушы, <sup>3</sup>Ассистент профессора

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0006-3072-7245> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-0927-1291>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0002-1160-3336>



<sup>1,2,3</sup>Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті,



Қостанай қ., Қазақстан



<sup>1</sup>[aubarirova.10.67@mail.ru](mailto:aubarirova.10.67@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/DSEO2494>

## САЛМАҒЫ 0,3 КГ КЕБЕК ҚОСЫЛҒАН БИДАЙ ҰНЫНАН ЖАСАЛҒАН ШЫҒЫС ЛЕПЕШКАСЫНЫҢ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

**Аңдатпа.** Бұл мақала нан өнімдерін өндіру процесінде кебек қосылған бидай ұның әлеуетті қолдану туралы зерттеуді ұсынады. Ол кебекті қосудың нан сапасының әртүрлі аспектілеріне, соның ішінде олардың құрылымына, түсіне, дәміне және тағамдық құндылығына әсерін қарастырады. Авторлар кебекті әртүрлі концентрацияларымен және оны өндіріс процесіне енгізудің оңтайлы әдістерімен эксперименттер жүргізеді. Сонымен қатар, олар кебек қосылған бидай ұнынан жасалған нан өнімдерін тұтынудың денсаулыққа тигізетін пайдасын талдайды, атап айтқанда, кебектегі антиоксиданттар мен басқа биологиялық белсенді заттардың көп болуына байланысты. Зерттеу нәтижелері өнімнің ассортиментін кеңейтуге және сапасын жақсартуға ұмтылатын өнеркәсіптік нан өндірушілері үшін, сондай-ақ салауатты және инновациялық тамақтануға қызығушылық танытатын тұтынушылар үшін пайдалы болуы мүмкін.

**Тірек сөздер:** ұн, бидай ұны, кебек, Шығыс лепешкасы, нан өнімдері, технология, тағамдық құндылығы, рецепт.



Аубакирова, Г.Е. Салмағы 0,3 кг кебек қосылған бидай ұнынан жасалған шығыс лепешкасының технологиясы [Мәтін] / Г.Е. Аубакирова, А.Т. Бекболатова, А.А. Кульписова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.63-70. <https://doi.org/10.55956/DSEO2494>

**Кіріспе.** Шығыс шелпек – ғасырлар бойы танымалдығы мен өзектілігін сақтаған ежелгі нан өнімдерінің бірі. Ол көптеген шығыс халықтарының тағамдарында маңызды орын алады, тек негізгі тағам ретінде ғана емес, сонымен қатар әртүрлі аймақтардың дәстүрлері мен аспаздық әдет-ғұрыптарын бейнелейтін мәдени символ ретінде әрекет етеді. Ұрпақтан ұрпаққа берілетін бұл өнімді дайындау технологиясы ғасырлар бойғы тәжірибені, табиғи компоненттерді және заманауи өндіріс әдістерін біріктіреді.

Кебек қосылған бидай ұнынан жасалған шелпек – бұл қоректік ғана емес, сонымен қатар қазіргі заманғы дұрыс тамақтану талаптарына сәйкес келетін пайдалы өнім. Қамырға қосылған кебек талшықтарға, В дәрумендеріне, микроэлементтерге бай, бұл өнімді ас қорыту жүйесіне

пайдалы етеді және жалпы денсаулықты жақсартады. Дұрыс тамақтану мен табиғи тағамдарға көбірек көңіл бөлінетін дәуірде мұндай шелпек дәм мен дәстүрді жоғалтпай диетаны теңестіргісі келетіндер үшін тамаша таңдау болады.

Заманауи технологиялар Шығыс шелпектерін өнеркәсіптік масштабта өндіруге мүмкіндік береді, сонымен бірге олардың шынайы дәмі мен құрылымын сақтайды. Дегенмен, әрбір сәтті өндіріс процесінің негізінде сынақта болып жатқан химиялық және биологиялық процестерді терең түсіну, сондай-ақ шикізат пен жабдықты дұрыс таңдау жатыр. Бұл мақалада салмағы 0,3 кг кебек қосылған бидай ұнынан Шығыс шелпек өндіру технологиясының негізгі аспектілері қарастырылады. Жұмыста жоғары сапалы бидай ұнын таңдаудың маңыздылығы, рецепт бойынша кебекті пайдаланудың артықшылықтары, сондай-ақ қамыр илеуден пісіруге дейінгі технологиялық процестің ерекшеліктері талқыланады.

Өндірістің ажырамас бөлігі санитарлық нормаларды сақтау және ингредиенттерді таңдаудан бастап дайын өнімге дейінгі барлық кезеңдерде сапаны бақылау болып табылады. Пісіру кезіндегі температура мен ылғалдылық, қамырдың дұрыс ашытылуы және дайын өнімдерді сақтаудың оңтайлы режимі сияқты факторларды ескеру маңызды, осылайша шелпек ұзақ уақыт бойы органолептикалық қасиеттерін сақтайды [1].

Осылайша, кебек қосылған Шығыс бидай ұнынан жасалған шелпек өндіру технологиясын әзірлеу ғылыми және практикалық аспектілерді қамтитын күрделі процесс болып табылады. Бұл процесті зерттеу және жетілдіру нан өнімдерінің ассортиментін кеңейтіп қана қоймай, сонымен қатар олардың рационында әртүрлілікке және денсаулығына қамқорлық жасауға ұмтылатын тұтынушылардың сұраныстарын қанағаттандыруға мүмкіндік береді.

Бұл мақалада кебек бидай ұнын қолдана отырып, Шығыс шелпек өндіру технологиясына бағытталған зерттеулерге шолу жасалады. Нан-тоқаш өнімдерінің сапасына, оны өндіріске енгізу процестеріне, денсаулыққа әлеуетті артықшылықтарға және осы технологияны тамақ өнеркәсібінде қолдану перспективаларына кебек қосудың әсері қарастырылады. Зерттеу нәтижесінде қазіргі тұтынушының сұранысын қанағаттандыратын және оның денсаулығы мен әл-ауқатына ықпал ететін инновациялық өнімдерді дамытудың жаңа перспективалары мен түсініктері ұсынылады.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Жүргізілген зерттеу келесі кезеңдерді қамтыды:

- кебек қосылған шығыс бидай ұнынан жасалған шелпек өндірісінің рецептурасын әзірлеу;
- кебек қосылған бидай ұнының органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштерін талдау;
- кебек қосылған шығыс бидай ұнының тағамдық және энергетикалық құндылығын анықтау.

Қазақстандағы адам өміріндегі нан негізгі тағам ғана емес, сонымен қатар қазақ халқының тарихын, дәстүрлері мен құндылықтарын бейнелейтін маңызды мәдени нышан бола отырып, шешуші рөл атқарады.

Қазақстанның қазіргі өмірінде нан әр үстелдің орталық өнімі болып қала отырып, маңызды рөл атқарады. Соған қарамастан, өмір салтының өзгеруімен және жаңа аспаздық үрдістердің пайда болуымен Қазақстандықтардың рационында нан-тоқаш өнімдерінің жаңа түрлері пайда

болады. Дәстүрлі қазақ торттары мен бауырсақтарымен қатар, дүкен сөрелерінде кебек, тұқым, дән және тіпті глютенсіз опциялар қосылған нанның әртүрлі сорттарын табуға болады.

Нан өзінің жоғары тағамдық құндылығына байланысты қазақстандықтардың тамақтануында маңызды орын алады. Ол ағзаның негізгі энергия көзі болып табылатын көмірсуларға бай. Қазақстанда кең таралған бидай наны құрамында В тобындағы дәрумендер, сондай-ақ темір, магний және фосфор сияқты бірқатар микроэлементтер бар. Соңғы жылдары кебек пен бидай ұны қосылған нан өнімдері танымал болды, бұл дұрыс тамақтануға деген қызығушылықтың артуына байланысты [2].

Кебек қосылған бидай ұнынан жасалған Шығыс шелпек – бұл дәстүрлі дәмімен ғана емес, сонымен қатар жоғары тағамдық құндылығымен де ерекшеленетін өнім. Кебекті қолдану арқылы шелпек қосымша пайдалы қасиеттерге ие болады, бұл оны тазартылған бидай ұнынан жасалған қарапайым өнімдермен салыстырғанда сау таңдау жасайды.

Негізгі қоректік заттар:

– Көмірсулар – шелпектің негізгі компоненті, бидай ұнынан алынатын көмірсулар. Олар ағзаның негізгі энергия көзі ретінде қызмет етеді, оны ұзақ уақыт қанықтырады. Ұнның құрамындағы күрделі көмірсулар баяу сіңеді, бұл қандағы қант деңгейін тұрақты ұстауға көмектеседі.

– Диеталық талшық. Кебек қосу арқылы шелпек талшыққа бай болады. Диеталық талшық ас қорытуды жақсартуда, ішек денсаулығын сақтауда және холестеринді төмендетуде маңызды рөл атқарады. Олар сондай-ақ салмақты басқаруға пайдалы болуы мүмкін қанықтылық сезімін сақтауға көмектеседі.

– Ақуыз – бидай ұны құрамында тіндердің өсуі мен қалпына келуіне, сондай-ақ жалпы метаболизмді сақтауға қажет өсімдік ақуыздары бар. Бидай ұнындағы ақуыздар толық болмаса да (оларда кейбір маңызды аминқышқылдары жоқ), олар теңдестірілген тамақтану кезінде өсімдік ақуызының жақсы көзі бола алады.

– Витаминдер – шелпек құрамында метаболизмде, жүйке жүйесінде және энергия өндіруде маңызды рөл атқаратын В тобындағы дәрумендер, әсіресе тиамин (В1), рибофлавин (В2), ниацин (В3) және фолий қышқылы (В9) бар. В дәрумендері теріні, шашты және тырнақты сау ұстау үшін де қажет.

– Минералдар – шелпек құрамындағы кебек минералдары өнімді темір, магний, фосфор, мырыш сияқты бірқатар пайдалы минералдармен байытады.

– Майлар – кебек қосылған бидай ұнынан жасалған торт құрамында майдың ең аз мөлшері бар, бұл өнімді аз калориялы етеді. Майлардың көп бөлігі жүрек денсаулығына пайдалы деп саналатын қанықпаған майлар түрінде болады [3].

*Кебектің пайдалы қасиеттері.* Кебек – бұл талшықтар мен микроэлементтерге бай астық қабығын қамтитын бидайды өңдеудің жанама өнімі. Оларды үнемі тұтыну ықпал етеді:

- ішек моторикасын белсендіру арқылы ас қорытуды жақсартуға;
- холестеринді төмендету және жүрек-қан тамырлары ауруларының қаупін азайтуға;
- қант диабетінің алдын алу үшін маңызды қандағы қант деңгейін бақылауға;

– салмақты бақылауға ықпал ететін аштық сезімін азайтуға [4].

Кебек қосылған шығыс бидай ұнының техникалық қасиеттері өнімнің физикалық, механикалық және технологиялық параметрлерін сипаттайды. Бұл қасиеттер шелпектің құрылымы, көлемі және сақталуы сияқты дайын өнімнің өндірістік процестері мен соңғы сипаттамаларына әсер етеді. Қамырға кебек қосу рецептураға өзгерістер енгізеді және өндіріс технологиясын жасау кезінде әртүрлі факторларды ескеруді қажет етеді.

Шелпек массасы – кебегі бар бидай ұнынан жасалған стандартты өнімдер көбінесе салмағы шамамен 0,3 кг құрайды. Бұл пайдалану мен сақтаудың ыңғайлылығын, сондай-ақ бөлікті тұтыну нормаларын сақтауға мүмкіндік береді. [5]

Шығыс шелпек пішіні әдетте дөңгелек немесе сопақша болады, ортасы орташа дөңес және шеттері сәл қалыңдатылған. Бұл пішін қамырды пісіру кезінде біркелкі таратуға және бүкіл бетінде біркелкі пісіруді қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Өнімнің тығыздығы кебек қосылған қамырдың газ ұстау қабілетін төмендету арқылы дәстүрлі кебексіз бидай ұнынан жасалған шелпектерге қарағанда жоғары болуы мүмкін. Себебі құрамында талшықтың едәуір мөлшері бар кебек глютенді жақтаудың құрылымын бұзады, бұл қамырды аз серпімді және тығыз етеді.

Кебектің болуына байланысты үгінділердің кеуектілігі де төмендейді. Сонымен қатар, шелпек ішіндегі тесіктер әдетте кішірек және айқын емес, бұл өнімнің құрылымын тығыз, бірақ біркелкі етеді [6].

Кебек қамырының икемділігі таза бидай ұнынан жасалған қамырмен салыстырғанда төмен болады. Себебі кебек глютеннің құрылымын бұзады, бұл қамырдың серпімді құрылымын қалыптастыруды қиындатады. Нәтижесінде қамыр аз иілгіш болады, сондықтан қалыптау мен илеу кезінде ерекше назар аударуды қажет етеді.

Қамырдың икемділігі де өзгереді: ол тығыз және аз созылады, бұл онымен жұмыс істеуді қиындатады. Қамырды өндеуге ыңғайлы болу үшін ұн мен кебек мөлшері арасындағы оңтайлы тепе-теңдікті сақтау маңызды.

Шығыс шелпектің қыртысы кебек қосылған бидай ұнынан жасалғанда дәстүрлі шелпекке қарағанда нәзік және тығыз болуы мүмкін. Кебек пісіру кезінде термиялық процестерге әсер етеді, қытырлақ қыртыстың пайда болуын тездетеді, бұл Кебекте карамелизацияға ықпал ететін компоненттердің болуына байланысты қарқынды түске ие болуы мүмкін. Қыртыстың қаттылығы біршама жоғары, бұл шелпекке сынған кезде ерекше қытырлақ береді. Бұл қасиет шелпекті ерекше құрылымы бар нанды ұнататындар үшін ерекше тартымды етеді [7].

Сақтау мерзімі кебек қосылған Шығыс шелпектерінің әдетте, кебектің ылғалды ұстау қабілетіне байланысты таза бидай ұнынан жасалған өнімдерге қарағанда ұзағырақ болады. Шелпек өзінің жұмсақтығы мен балғындығын ұзақ уақыт сақтайды, бұл оны сақтау тұрғысынан ыңғайлы етеді.

**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** Кебек қосылған бидай ұнынан Шығыс шелпек дайындау үшін ең алдымен жақсы кебек таңдалынды. 1-суретте бидай кебегі көрсетілген. 1-кестеде Шығыс шелпек рецептісі берілген.



Сурет 1. Бидай кебегі

Кесте 1

Шығыс шелпек рецепті

Қамыр үшін:	Шикізат шығыны (кг, мл)	Бағасы 1кг (тг)	Барлығы (тг)
Ұн	1 кг	520	520
Кебек	0,3 кг	620	186
Ашытқы	6 гр	980	6
Су	800	320	256
Өсімдік майы	30 мл	780	23

*Қамырды дайындау әдісі.* Ингредиенттерді дайындау. Қамырды дайындау үшін 1 кг ұн, 0,3 кг кебек, 6 гр ашытқы, 800 мл су және 30 мл өсімдік майы қажет. 1 кг ұнды електен өткізген соң, оған кебек қосылады. Бөлек ыдысқа жылы су құйып, ашытқы, дәміне қарай қант пен тұз қосып, араластырады. Содан кейін ашытқы қосылған суға өсімдік майы қосылады. Әрі қарай, сұйық қоспаға мұқият және біртіндеп кебек қосылған бидай ұнының құрғақ қоспасы қосылып, қамыр иленеді. Дайын қамыр жабық ыдыста жылы жерге қойылады. Қамыр көтерілгеннен кейін ол жайылып, шелпек пішініне келтіріледі (2-сурет).



Сурет 2. Шелпек пішіндеу

Әрі қарай шелпектің беті жұмыртқаның сарысымен майланып, көкнәр тұқымдары себіледі және ол пешке 180-200 °С температурада 40 минутқа пісіруге қойылады (3-сурет).



Сурет 3. Дайын Шығыс шелпегі

Кебек қосылған шығыс бидай ұнының органолептикалық қасиеттері – бұл сезім мүшелерінің көмегімен қабылданатын сипаттамалардың жиынтығы: сыртқы түрі, дәмі, хош иісі, түсі және құрылымы. Бұл қасиеттер өнімнің сапасын қабылдауда шешуші рөл атқарады және оның тұтынушылар үшін тартымдылығының маңызды көрсеткіші болып табылады. 2-кестеде кебек қосылған шығыс бидай ұнының органолептикалық көрсеткіштері келтірілген.

Кесте 2

Кебек қосылған шығыс бидай ұнының органолептикалық көрсеткіштері

Шелпек түрі	Дәмі мен иісі	Сыртқы түрі мен консистенциясы	Түсі
Кебек қосылған бидай ұнынан жасалған Шығыс шелпек	Бидай ұнының бай, сәл тәтті дәмі, өзіне тән дәнді және сәл жаңғақ ноталары бар	Дөңгелек, сәл сопақша пішінді, беті тегіс және жиектері қалыңдатылған. Қыртысы тығыз, қытырлақ, сәл жылтырлығы бар.	Алтын қоңыр

Тағамдық құндылық – тағамның пайдалы қасиеттерінің толықтығын, бұл өнімнің адамның негізгі қоректік заттар мен энергияға физиологиялық қажеттіліктерін қамтамасыз ету дәрежесін тұтас көрсететін ұғым. Тағамдық құндылық тағамның химиялық құрамымен сипатталады және белгілі бір қоректік заттарды тұтыну ерекшеліктерін ескере отырып бағаланады.

Кесте 3

Кебек қосылған шығыс бидай ұнынан жасалған шелпектің тағамдық құндылығы

Шикізат	Салмақ, г	Ақуыз, г	Майлар, г	Көмірсулар, г	Калория, ккал
Ұн	1000	100	10	760	3640
Кебек	300	51	21	198	738
Ашытқы	6	2,4	0,48	2,46	19,5
Су	800	0	0	0	0
Өсімдік майы	30	0	30	0	265,2
Барлығы:	2136	153,4	61,48	960,46	4662,7

**Қорытынды.** Кебек қосылған бидай ұнынан жасалған Шығыс шелпек – бұл дәстүрлі пісіру әдістері мен дұрыс тамақтанудың заманауи принциптерін біріктіретін дәмді ғана емес, сонымен қатар қоректік өнім. Ол дәмдік қасиеттерімен қатар, жоғары тағамдық құндылыққа ие. Кебектің қосылуы шелпекті диеталық талшықтармен, дәрумендермен және минералдармен байытады, бұл оны ас қорыту жүйесіне және жалпы денсаулыққа пайдалы етеді. Өнімнің технологиялық және органолептикалық сипаттамалары – тығыз құрылымы, жаңғақ тәрізді дәмдік реңктері, қытырлақ қабығы – тұтынушылар тарапынан жоғары бағаланады. Шығыс шелпек дәстүрлі дәмді сақтай отырып, теңгерімді тамақтануды қалайтындар үшін қолайлы таңдау болып табылады.

Кебек қосылған шығыс бидай ұнының техникалық қасиеттері кебек қосу арқылы дәстүрлі нан өнімдерінен айтарлықтай ерекшеленеді, бұл өндіріс кезінде ерекше тәсілді қажет етеді. Атап айтқанда, суды сіңіру қабілеті, камырдың тығыздығы, газды ұстап тұру деңгейінің төмендеуі және қыртыстың сынғыштығының артуы өндіріс процесінде ерекше технологиялық тәсілдерді қажет етеді. Бұл қасиеттерді ескеру тағамның сапасы мен пайдасына қойылатын заманауи талаптарға жауап беретін бірегей құрылымы мен жақсартылған тағамдық қасиеттері бар өнімді жасауға мүмкіндік береді.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Беляев, С.А. Технология хлебопекарных изделий [Текст]. – М. : Колос, 2018. – 320 с.
2. Романов Е.П. Физиология питания и влияние хлебоулучных изделий с отрубями на организм человека [Текст] / Е.П. Романов, М.В. Королёва. – М. : ДеЛи Принт, 2020. – 384 с.
3. Сидорова, О.А. Отруби в хлебопекарной промышленности: состав и функциональные свойства [Текст] / О.А. Сидорова // Вестник пищевой промышленности. – 2021. – № 3. – С. 18-22.
4. Петров И.В. Технология выпечки хлебоулучных изделий с добавлением отрубей [Текст] / И.В. Петров. – Екатеринбург : Уральский государственный университет, 2021. – 270 с.
5. Городецкий, Н.М. Пищевая ценность и безопасность хлебоулучных изделий с отрубями [Текст] / Н.М. Городецкий, Ю.Г. Ларин // Журнал хлебопечения и кондитерских изделий. – 2022. – № 4. – С. 12-16.
6. Третьякова, А.В. Использование пшеничных отрубей в хлебоулучной продукции [Текст] / А.В. Третьякова, П.С. Зотов // Хлебопекарное производство. – 2022. – № 2. – С. 30-34.
7. Воронин, К.А. Технологические процессы при изготовлении хлебоулучных изделий с отрубями [Текст] / К.А. Воронин. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2021. – 295 с.

Материал редакцияға 11.06.25 түсті, 25.08.25 қабылданды.

**Г.Е. Аубакирова<sup>1</sup>, А.Т. Бекболатова<sup>1</sup>, А.А. Кульписова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы,  
г. Костанай, Казахстан

#### ТЕХНОЛОГИЯ ВОСТОЧНОЙ ЛЕПЕШКИ ИЗ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ С ОТРУБЯМИ МАССОЙ 0,3 КГ

**Аннотация.** В этой статье предлагается исследование потенциального использования пшеничной муки с отрубями в процессе производства хлебоулучных изделий. Рассматривается влияние добавления отрубей на различные аспекты

качества хлеба, включая их текстуру, цвет, вкус и пищевую ценность. Проведены эксперименты с различными концентрациями отрубей и оптимальными методами их включения в производственный процесс. Кроме того, проанализирована польза для здоровья от употребления хлебобулочных изделий из муки с отрубями, в частности, из-за высокого содержания антиоксидантов и других биологически активных веществ в отрубях. Результаты исследования могут быть полезны промышленным производителям хлеба, стремящимся расширить ассортимент и улучшить качество продукции, а также потребителям, заинтересованным в здоровом и инновационном питании.

**Ключевые слова:** мука, пшеничная мука, отруби, Восточная лепешка, хлебобулочные изделия, технология, пищевая ценность, рецепт.

G.E. Aubakirova<sup>1</sup>, A.T. Bekbolatova<sup>1</sup>, A.A. Kulpiyissova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynov, Kostanay, Kazakhstan*

#### THE TECHNOLOGY OF ORIENTAL FLATBREAD MADE FROM WHEAT FLOUR WITH 0.3 KG OF BRAN

**Abstract.** This article presents a study of the potential use of wheat flour with bran in the production of bakery products. The influence of bran addition on various quality aspects of bread, including texture, color, taste, and nutritional value, is examined. Experiments were carried out with different concentrations of bran and optimal methods of their incorporation into the production process. In addition, the health benefits of bakery products made from bran-enriched flour are analyzed, particularly due to the high content of antioxidants and other biologically active compounds in bran. The results of the study may be useful for industrial bread producers seeking to expand their product range and improve quality, as well as for consumers interested in healthy and innovative nutrition.

**Keywords:** flour, wheat flour, bran, Eastern flatbread, bakery products, technology, nutritional value, recipe.

#### References

1. Belyaev, S.A. Tekhnologiya khlebopekarnykh izdeliy [Bakery Products Technology]. – M. : Kolos, 2018. – 320 p. [in Russian].
2. Romanov, E.P., Koroleva, M.V. Fiziologiya pitaniya i vliyaniye khlebobulochnykh izdeliy s otrubyami na organizm cheloveka [Nutrition Physiology and the Influence of Bran Bakery Products on the Human Body]. – Moscow: DeLi Print, 2020. – 384 p. [in Russian].
3. Sidorova O.A. Otrubi v khlebopekar-noy promyshlennosti: sostav i funktsional'nye svoystva [Bran in the Baking Industry: Composition and Functional Properties] // Bulletin of the Food Industry. – 2021. – No. 3. – P. 18-22. [in Russian].
4. Petrov, I.V. Tekhnologiya vypechki khlebobulochnykh izdeliy s dobavleniem otrubey [Baking Technology of Bakery Products with Bran]. – Yekaterinburg: Ural State University, 2021. – 270 p. [in Russian].
5. Gorodetskiy N.M., Larin Yu.G. Pishchevaya tsennost' i bezopasnost' khlebobulochnykh izdeliy s otrubyami [Nutritional Value and Safety of Bakery Products with Bran] // Journal of Baking and Confectionery. – 2022. – No. 4. – P. 12-16. [in Russian].
6. Tret'yakova A.V., Zotov P.S. Ispol'zovanie pshenichnykh otrubey v khlebobulochnoy produktsii [Use of Wheat Bran in Bakery Products] // Bakery Production. – 2022. – No. 2. – P. 30-34. [in Russian].
7. Voronin, K.A. Tekhnologicheskie protsessy pri izgotovlenii khlebobulochnykh izdeliy s otrubyami [Technological Processes in the Manufacture of Bakery Products with Bran]. – Voronezh : Voronezh State University of Engineering Technologies, 2021. – 295 p. [in Russian].

FTAMP 65.53.33

Ш.Е. Дуисебаев<sup>1</sup> – негізгі автор, ©  
М.И. Сатаев<sup>2</sup>, А.М. Азимов<sup>3</sup>, Ж.С. Аширбаев<sup>4</sup>,  
Н.В. Алексеева<sup>5</sup>, З.М. Шакирьянова<sup>6</sup>



<sup>1,4</sup>Ғылыми қызметкер, <sup>2</sup>Техн. ғылым. д-ры, профессор, <sup>3</sup>PhD, <sup>5</sup>Профессор,  
<sup>6</sup>Кіші ғылыми қызметкер

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-6465-2118> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-9308-1839>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-1316-5854> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-0125-1744>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0003-4279-6249> <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0002-1984-3847>



<sup>1,2,3,4,5,6</sup>«InnovTechProduct» ЖШС, Шымкент қ., Қазақстан  
<sup>1,2,3,4</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,  
Шымкент қ., Қазақстан



<sup>1</sup>[shyngys.86@mail.ru](mailto:shyngys.86@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/ZTFR4785>

## ГАЗДЫ КЕПТІРУ ҚОНДЫРҒЫСЫМЕН ТИІМДІ ЖАҒДАЙДА ЖЕМІС-ЖИДЕКТЕРДІ КЕПТІРУ ӘДІСІ

**Аңдатпа.** Зерттеу жемістерді газды кептіру кезінде қыздыру температурасының дайын өнімдегі ылғалдың массалық үлесіне әсерін зерттейді. Газды кептіру – жыл бойына қажетті қоректік заттармен қамтамасыз ете алатын кептірілген жемістерді өндіруге мүмкіндік беретін өнімді сақтаудың перспективалы әдісі. Осы мақаладағы егжей-тегжейлі эксперименттер жемістерді кептірудің оңтайлы режимдерін орнатуға бағытталған. Тәжірибелерді талдау үшін Қазақстанда қолданыстағы нормативтік құжаттарға сәйкес стандартты әдістер қолданылды. Қазақстанның оңтүстігінде өсетін жемістер үшін конвективтік кептіру схемалары ұсынылды. Құрылған схемаларға сәйкес кептіру процесі кезіндегі қыздыру температурасы соңғы өнімге әсер ететінін көруге болады. Талдау көрсеткендей, қыздыру температурасының жоғарылауы кептіру уақытының қысқаруына әкеледі. Көрсетілген уақытта кептірілген өнімнің салыстырмалы массасының ең жоғары конверсия жылдамдығы анықталады. Сонымен қатар, ылғалдың максималды ұшпа жылдамдығына жаңа шикізаттың температурасы, мөлшері және құрылымы әсер ететіні анықталды. Негізгі сапа көрсеткіштеріне сенсорлық бағалау жүргізілді: дәм, түс, иіс және консистенция. Көрсеткіштердің оңтайлы сипаттамалары анықталды. 50–65 °С температурада экстракция жүргізілді. Көптеген тәжірибелердің нәтижелері газды кептіру параметрлерін ұсынудың қажеттілігін көрсетті. Өрік үшін газды кептіру температурасы – 55-65°C, қара өрік үшін – 60-65°C. Мұндай нәтижелер жемістер мен көкөністерді өңдеу технологиясында пайдалы болады.

**Тірек сөздер:** газды кептіру, температура, жемістер, өрік, қара өрік, талдау.



Дуисебаев, Ш.Е. Газды кептіру қондырғысымен тиімді жағдайда жеміс-жидектерді кептіру әдісі [Мәтін] / Ш.Е. Дуисебаев, М.И. Сатаев, А.М. Азимов, Ж.С. Аширбаев, Н.В. Алексеева, З.М. Шакирьянова // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.71-81. <https://doi.org/10.55956/ZTFR4785>

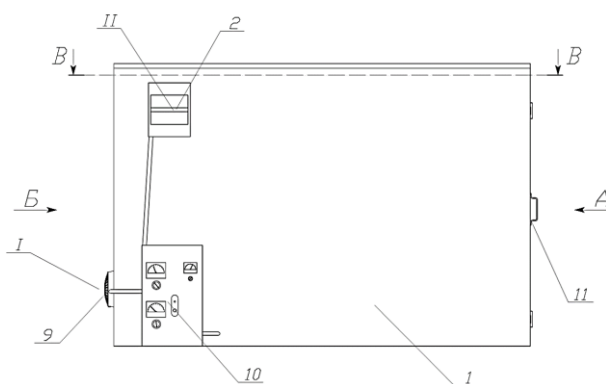
**Кіріспе.** Конвективті кептіру – тағамдық консервілеудің жетілдірілген әдістерінің бірі [1]. Кептіру кезеңінің ең жақсы нәтижелеріне көптеген эксперименттерді жүргізу арқылы қол жеткізіледі. Сондықтан ғылыми

негізде кептіру режимдерінің қолайлы сипаттамаларын таңдау қажет. Нәтижесінде жоғары сапалы дайын өнім шығады. Кептірілген өнімнің сенсорлық және физика-химиялық қасиеттерін көрсету маңызды [2-4].

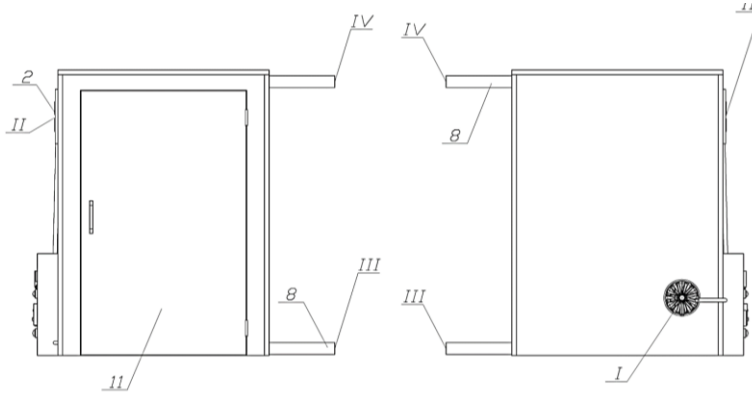
Конвективті кептіру әдісі арқылы жеміс шикізатының алуан түрін сақтауға болады. Жемістер маусымдық өнім болғандықтан, кептірілген жемістерді өндіру олардың жыл бойына халыққа қол жетімділігін қамтамасыз етеді, сол арқылы диеталардың тағамдық құрылымын жақсартады. Кептірілген жемістерді дербес өнім ретінде сатуға болады немесе түрлі тағамдарға қосымша ретінде пайдаланып, оларды витаминдер мен микроэлементтермен байытуға мүмкіндік береді.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Газды кептіргіштің міндеті буланған ылғалды жою, өнімге рационалды температуралық әсерді сақтау және өнімді кептіру шығындарын барынша азайту арқылы алынған өнімнің сапасын арттыру болып табылады. Бұған ылғалдылығы жоғары материалдарды құрғатуға арналған электр конвективті кептіргіште, оның ішінде кептірілетін материалы бар он екі торлы науалар салынған кептіру камерасы бар корпус, екі аралық және төменгі науалар, төменгі және жоғарғы жағында қарсы токпен параллель бағытталған ауа ағыны бар желдеткіштер және корпуста автоматты басқару құрылғысы болуы арқылы қол жеткізіледі [5,6]. Ауаны және шығатын жоғарғы саңылауларды және оны буланған ылғалмен бірге кетіруге арналған төменгі саңылауды, өнертабысқа сәйкес кептіру камерасы аралық науалар арқылы екі бөлікке және әр деңгейдің үстіңгі және төменгі жағында екі торлы науаны қамтитын үш деңгейге бөлінеді, олардың арасында температура сенсоры орнатылған, кептіру температурасының максималды реттегішін орнату кезінде орнату температурасы бар автоматты басқару блогына қосылған. конденсат аккумуляторы. Техникалық нәтиже буланған ылғалды кетіру, өнімге ұтымды температуралық әсерді сақтау және өнімді кептіруге кететін энергия шығындарын азайту арқылы алынған өнімнің сапасын арттырудан тұрады [7].

Газды кептіргіштің жұмыс принципі сызбалар арқылы түсіндіріледі. 1-суретте құрылғының жалпы бүйірлік көрінісі берілген. 2-суретте – А көрінісі, 3-суретте – Б көрінісі, 4-суретте – В-В қимасы, 5-суретте – D-D қимасы, ал 6-суретте оң жақтан артқы көрініс көрсетілген (корпустың артқы және оң жақ бүйір қабырғалары шартты түрде алынбаған). 7-суретте сол жақтан артқы көріністің техникалық сызбасы берілген. Корпустың артқы және бүйірлік (сол) қабырғалары шартты түрде көрсетілмеген.

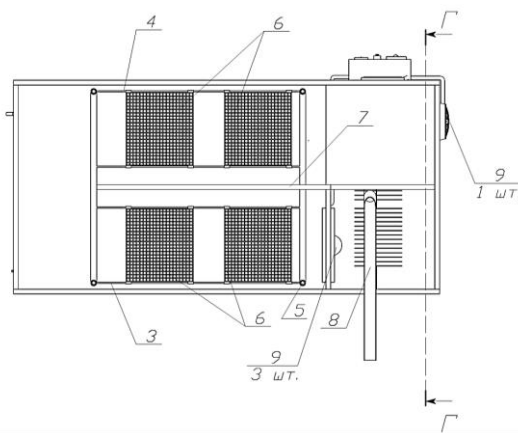


Сурет 1. Құрылғының жалпы бүйірлік көрінісі

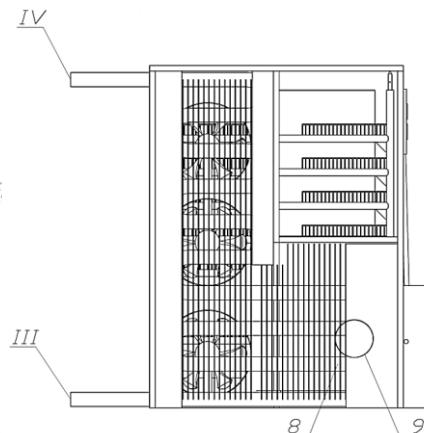


Сурет 2. А көрінісі  
(1-суреттен қарағанда)

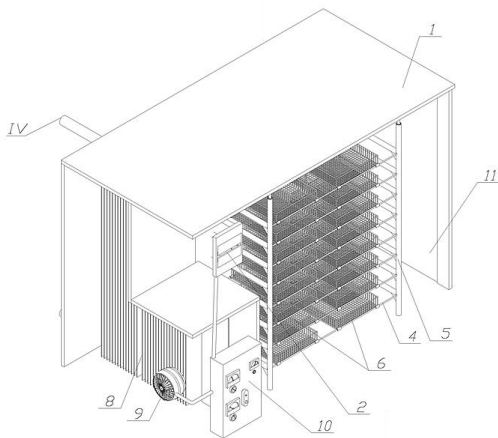
Сурет 3. Б көрінісі  
(1-суреттен қарағанда)



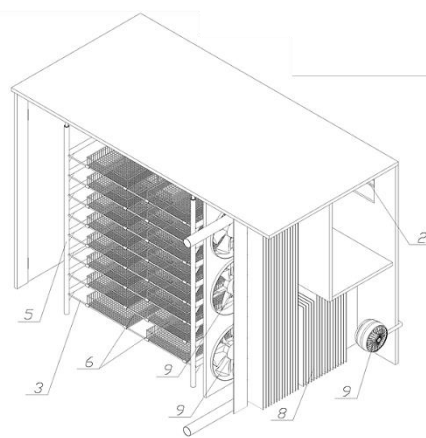
Сурет 4. В-В қиығы



Сурет 5. Г-Г қиығы (4-суреттен  
қарағанда)



Сурет 6. Оң жақтан артқы көріністің  
техникалық сызбасы. Корпустың артқы  
және бүйірлік (оң) қабырғалары шартты  
түрде көрсетілмеген



Сурет 7. Сол жақтан артқы көріністің  
техникалық сызбасы. Корпустың артқы және бүйірлік  
(сол) қабырғалары шартты түрде  
көрсетілмеген

Газ кептіргіші сығылған ауаны шығаруға арналған тік бұрышты саңылаулары бар корпуста 1, 2, кептіру камерасын құрайтын арнайы профили 5 бүйір қабырғалары 3, 4, кептіру камерасын екі бөлікке бөлетін төгілу науалары 6, қақпақтар 7, газ жылытқыштары 8, желдеткіштер 9, кептіру процесін автоматты реттеуге арналған басқару блогы 11 алдыңғы қабырғасында 10. бүйір қабырғаларынан қашықтық 3, 4 және әрбір секциядағы екі торлы науалар, кептіру камерасындағы температураны шектейтін шекті қыздыру температурасын орнату құрылғысы да қосылған қондырғыға қосылған температура датчиктері орнатылады. Корпустағы 1 ауаны беру үшін сығылған ауа ағынының қозғалысы бар желдеткіштердің жоғарғы жағында 12, кіріс тік бұрышты саңылаулар 2 жасалады, төменгі төгілулерді жинау науасында ауаны буланған ылғалмен, конденсат аккумуляторымен және конденсат шығаратын құбырмен бірге шығару үшін төменгі торлы науаға қарама-қарсы төменгі саңылау жасалады.

Кептіргіш келесідей жұмыс істейді. Торлы науалар ұсақталған кептіру материалымен жүктеледі және кептіру камерасына корпустағы тікбұрышты саңылаулар 2 арқылы 1 бүйір қабырғалардың 3, 4 бағыттағыштары бойымен енгізіледі. Кептіру камерасының секциялары және сығылған ауа ағынының желдеткіштері қосылады. Бөлімдегі температура ең жоғары белгіленген температураға жеткенше торлы науалардағы материал орналасқан. Материалдың әрбір түрі үшін бұл температура эксперименталды түрде анықталады.

Ең жоғары белгіленген кептіру температурасына жеткеннен кейін газ жылытқыштары сенсордан сигнал бойынша өшіріледі және импульстік ауысу режиміне ауыстырылады. Импульсті ауыстыру және үзіліс ұзақтығы 1:3 қатынасындай және кептіру камерасында орнатушы орнатқан материалдың түріне және максималды температураға байланысты. 1:3 қатынасы жоғарғы секциядағы екі электр қыздырғышты басында қосуға, ортаңғы секцияда екеуін және төменгі бөлікте екеуін қоспауға мүмкіндік береді, содан кейін екі ортаңғы электр жылытқышы ортаңғы секцияның датчигі командасымен қосылады, екі жоғарғы бір уақытта өшіріледі, содан кейін екі төменгі электр жылытқышы бір уақытта сөндіріледі, содан кейін екі төменгі электр жылытқышы бір ортаңғы секцияның екі төменгі ажыратқышы бірдей пәрменмен өшіріледі. уақыт. Содан кейін жоғарғы датчиктің командасы бойынша екі жоғарғы электр жылытқышы қайтадан қосылады, ал екі ортаңғы және екі төменгі электр жылытқышы өшіріледі. Бұл цикл кептіру процесінің соңына дейін қайталаынады. Бұл жағдайда ағынға бағытталған ауа ағынының желдеткіштері үнемі қосылады. Ұсақталған материал арқылы үрленген ауамен араласқан буланған ылғал артқы қабырғадағы ойықтар мен саңылау арқылы сыртқа шығарылады.

Кептіру процесі аяқталғаннан кейін автоматты басқару блогы электр жылытқыштар мен желдеткіштерді өшіреді, ал электр кептіргішке материалдың жаңа партиясы жүктеледі. Ұсынылған кептіргіш газ жылытқыштарына бір уақытта берілетін қуатты арттырмай, газ жылытқыштарын орнату есебінен электр тогы желісіне бір реттік жүктемені арттырмай, үзіліс уақытын газ жылытқышымен толтыру арқылы өңделетін материалдың көлемін үш есе арттыруға мүмкіндік береді.

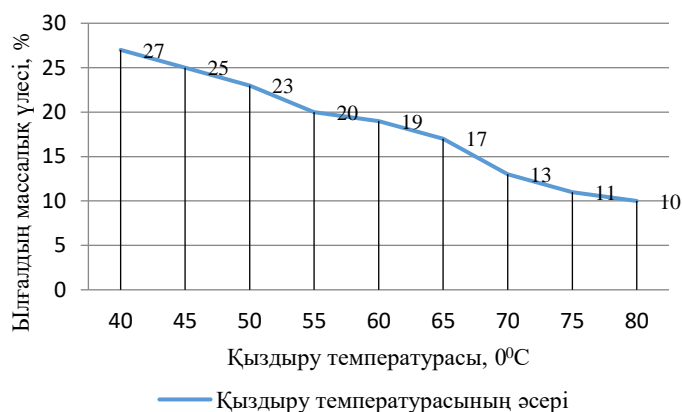
**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** Тәжірибелік зерттеулер Шымкент қаласында орналасқан «InnovTechProduct» ЖШС базасында жүргізілді. Зерттеу барысында талданатын газды кептіру режимдерінің

диапазоны таңдалып, жемістердегі пайдалы элементтердің сақталуы қамтамасыз етілді.

Тәжірибелер зертханалық газды кептіру қондырғысында 40-80°C-қа дейінгі қыздыру температурасында 5° қадаммен жүргізілді. Жемістер палеттерде бір қабатта кептірілді. Кептіруді бақылау параметрлері кептіру қыздыру температурасы (0°C), жеміс ылғалдылығының массалық үлесі (%) болды [8]. Алынған өнімдердің салыстырмалы сипаттамалары үшін нормативтік құжаттар пайдаланылды.

Қарастырылып отырған эксперименттер үшін өрік пен қара өрік жемістерін таңдап алынды. Алынған өріктерді екі жартыға бөлініп, бір қабаттап біркелкі паллетке жайылды. Өрікті тазарту сатысында, тұқымдар алынып тасталды. Өріктің жартысы целлюлозаны жоғары қаратып конвективті кептіру парақтарына салынды. Өрік жемістері бір-біріне тиген жоқ. Үлгілер үрлейтін желдеткіштің көмегімен кептіруге ұшырады. 50°C температурада белгіленген кептіру уақыты 18-24 сағатты құрады. 65°C температурада, кептіру уақыты 18 сағатты құрады. Кептірілген жеміс ылғалдылығының массалық үлесі 10-20% жеткенде өрікті кептіру тоқтатылды.

Төменде конвективтік кептіру кезінде өрік ылғалдылығының массалық үлесінің төмендеуінің графигі 8-суретте көрсетілген.



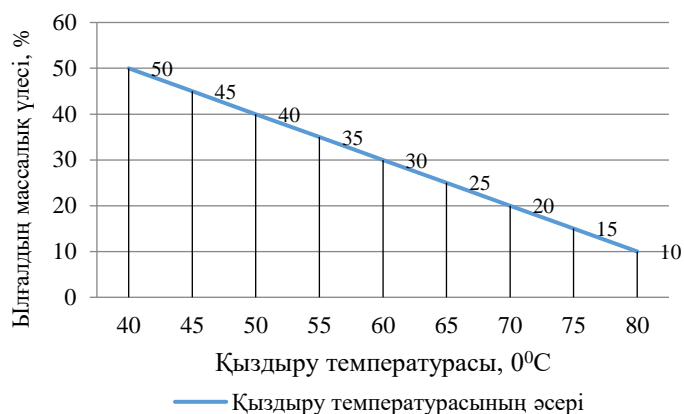
Сурет 8. Өрікті конвективті кептіру кезінде қыздыру температурасының оның ылғалдылық массалық үлесіне әсері

График өрік ылғалдылығының массалық үлесінің төмендеу динамикасы біркелкі емес процесс екенін көрсетеді. 40°C кептіру температурасында мән 80°C дейін кептіру қыздыру температурасында 27%-дан 10%-ға дейін төмендеді. Оңтайлы нәтижелер кептірілген өрік ылғалдылығының массалық үлесі 55-65°C кептіру қыздыру температурасында 18-20% шамасында алынды.

Өрі қарай, қара өрікті кептіру кезінде қыздыру температурасының ылғалдың массалық үлесінің азаюына әсері зерттелді. Кептірілген жемістердегі ылғалдың массалық үлесі 20-25% жеткенде қара өріктерді кептіру тоқтатылды. Қара өрік бұрын екі жартыға бөлінген бір қабатта кептірілді. Қара өрік тазалау кезеңінде тұқымдар жойылды. Қара өрік жартысы газды кептіру парақтарына пульпаны жоғары қаратып төселген. Қара өрік жемістері бір-біріне тиген жоқ. Олар газды кептіру желдеткішімен

мұқият үрленді. Дайын өнім үшін 45-50°C-тан 70 °C-қа дейінгі температурада белгіленген кептіру уақыты 16 сағатты құрады.

Кептіру қыздыру температурасына байланысты газды кептіру кезінде қара өріктегі ылғалдың массалық үлесінің төмендеуін суреттейтін график төменде көрсетілген (9-сурет).



Сурет 9. Қара өрікті газды кептіру кезінде қыздыру температурасының оның ылғалдың массалық үлесіне әсері

Зерттеу диаграммасы келесі тиімді сипаттамаларды көрсетеді. Кептіру сатысындағы қара өрік ылғалдылығының массалық үлесінің нормативтік мәндері 65-70°C қыздыру температурасында 20-25% аймақта белгіленді.

Өткізілген тәжірибелер негізінде газды кептіру кезіндегі дайын жеміс өнімдерінің кептіру ұзақтығы мен шығымы 1-кестеде белгіленді.

#### Кесте 1

Кептіру ұзақтығы және газды кептіру кезінде дайын жеміс өнімдерінің

ШЫҒЫМЫ		
Кептірілген жемістердің атауы	Кептіру уақыты, сағ.	Дайын өнімді шығару
Кептірілген өрік	18-24	13-18
Қара өрік	16-18	19-20

Кептірілген жемістердің газды кептіруден кейінгі химиялық құрамы 2-кестеде толық көрсетілген [9,10]. Жұмыста фейджоаны конвективті кептірудің физика-химиялық сипаттамаларына, сонымен қатар кептіру параметрлеріне (энергия шығыны және кептіру жылдамдығы) әсері зерттелді. Фейджоа жемісінің бөліктері 50, 60 және 70°C температурада, ауа жылдамдығы 0,5 және 1 м/с, қалыңдығы 0,003 м және 0,005 м кептірілді. Оңтайлы жағдайлар температура 50,83°C, ауа жылдамдығы 1 м/с, қалыңдығы 0,003 м болды. Нәтижелер конвективтік кептіру биоқосыныстар мен биологиялық белсенділікті сақтай отырып, функционалдық ингредиенттерді алудың қолайлы және үнемді әдісі екенін көрсетті.

#### Кесте 2

Газды кептіру кезінде кептірілген жемістердің химиялық құрамы

Көрсеткіштердің атауы	Мәні
1	2
Кептірілген өрік	
Ылғалдылық, %	13-18

2-кестенің жалғасы

1	2
Ақуыздар, г.	4,1-4,8
Майлар, г	0,086-0,1
Көмірсулар, г	45-47
Қара өрік	
Ылғалдылық, %	20-25
Ақуыздар, г	0,86
Майлар, г	0,16
Көмірсулар, г	27,03

Практикалық зерттеулер барлық объектілер үшін 40°C-тан 80°C-қа дейінгі температурада 5 градустық өсіммен конвективтік кептіру ұзақтығын берді (3-кесте).

Кесте 3

Температуралық таңдау кезінде жемістерді газды кептіру ұзақтығы, сағ.

Жеміс түрі	Кептіру температурасы, °C								
	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Өрік	36	32	24	22	20	18	16	14	12
Қара өрік	26	24	22	20	18	16	14	12	10

Конвективтік кептірудің бүкіл процесін үш кезеңде ұсынуға болады. Бірінші кезеңде өнімнің температурасы бірнеше градусқа төмендейді, ал салыстырмалы массасы 2-5% төмендейді. Бұл фазада өнімнің макрокапиллярларының ылғалдылығы жойылады. 10 минуттан кейін камерадағы температура қажетті деңгейге жеткенде температура мен өнімнің сусыздану жылдамдығы жоғарылай бастайды, ал сусыздандырудың екінші кезеңі басталады [11,12].

Конвективтік кептіру кептірудің екінші кезеңінің болуымен сипатталады. Бұл кезеңде кептіру жылдамдығының жоғарылауы байқалады. Дүние жүзінде көптеген жеміс сорттары бар, әр жемістің өзіндік ерекшеліктері бар. Көптеген тәжірибелер жүргізгеннен кейін қыздыру температурасының жоғарылауы соңғы объектінің салыстырмалы массасының ең жоғары өзгеру жылдамдығымен сәйкес келетіні байқалды [13].

Алынған зерттеу нәтижелері төмендегідей. Ылғалды кептірудің ең жоғары жылдамдығына температура ғана емес, сонымен қатар жемістердің құрылымы мен мөлшері де әсер етеді. Тәжірибелер кезінде өнімнің ортасынан оның сыртқы қабаттарына ылғалдың булану қарқындылығының төмендеуіне үлкен параметрлер мен жемістің қалыңдығы әсер етті. Сондықтан, ылғалды кептірудің ең жоғары жылдамдығын орнату үшін өте маңызды уақыттың ұлғаюы бар.

Екінші кезеңде кептіру кезінде микрокапиллярлық ылғал мен осмостық ылғал буланып кетеді [14].

Үшінші кезеңде кептіру жылдамдығының белгілі бір төмендеуі байқалады, бұл кезде материалдан моно- және полимолекулярлық адсорбциялық ылғал жойылады. Бұл кезең ең жоғары байланыс энергиясымен сипатталады. Сенсорлық қасиеттерді бағалау үшін түс, дәм, иіс және консистенция сияқты көрсеткіштерге негізделген тәсіл қолданылды. Ұсынылған көрсеткіштер 5 балдық жүйемен бағаланды [15]. Осылайша, жалпы ұпайлар шамамен 20 ұпайды құрады.

Өріктердің сенсорлық қасиеттерінің оңтайлы технологиялық сипаттамаларына (16-дан 20 баллға дейін) келесі шарттарда қол жеткізілді: қыздыру температурасының диапазоны 55-65°C. Температура 80°C-қа дейін көтерілген кезде органолептикалық қасиеттердің баллдары 2 баллға дейін төмендейді.

Сенсорлық сипаттамалардың максималды ұпайлары алмаларды кептіру үшін 50-55°C қыздыру температурасында алынды (5-кесте). Қара өрік үшін стандартқа сәйкес келетін көрсеткіштер 60-65°C температурада байқалды.

Кесте 5.

Газды кептіру температурасын таңдау кезінде кептірілген жемістерді органолептикалық бағалау нәтижелері

Жемістің түрі	Көрсеткіш	Кептіру температурасы, °C								
		40	45	50	55	60	65	70	75	80
Өрік	Дәмі	4	4	45	5	5	5	2	2	0
	Түсі	4	4	4	5	5	5	2	2	1
	Иіс	4	4	4	5	5	5	3	3	0
	Жүйелілік	2	2	3	5	5	5	2	2	1
	<i>Барлығы</i>	14	14	16	20	20	20	9	9	2
Қара өрік	Дәмі	4	4	5	5	4	3	2	2	1
	Түсі	4	4	5	5	3	3	1	1	1
	Иіс	4	4	5	5	3	2	2	2	0
	Жүйелілік	4	4	5	5	3	2	4	2	2
	<i>Барлығы</i>	16	16	20	20	15	10	9	7	4

**Қорытынды.** Ұсынылған әдіс конвекция жағдайында жемістерді кептіру процесінің тиімділігіне қыздыру температурасының әсерін зерттеуге мүмкіндік берді. Сусыздандыру уақыты мен жемістердің биологиялық құнды компоненттерін сақтау деңгейінің оңтайлы арақатынасын ескере отырып, өндірістік өңдеуге келесі температуралық режимдерді ұсынуға болады: өрік үшін – 55-65°C, қара өрік үшін – 60-65°C.

**Әдебиеттер тізімі**

1. Гриднева, Е.Е. Плодоовощная отрасль южно-казахстанского региона: состояние и перспективы [Текст] / Е.Е. Гриднева, Г.Ш. Калиакпарова, Н.М. Калманова // Проблемы агрорынка. Форсайт-Казахстан. – 2020. – № 3. – С. 180-186.
2. Евлаш, В.В. Теоретическое исследование способов сушки овощей и фруктов [Текст] / В.В. Евлаш, А.В. Гавриш, А.И. Кравченко, Немирич, Т.А. Тарасенко, А.М. Вашека // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. – 2015. – Т. 17. – № 4 (64). – С. 148.
3. Górnicki K., Janaszek M., Kaleta A., Martynenko A., Winiczenko R. Multi-objective optimization of convective drying of apple cubes // Computers and Electronics in Agriculture. – 2018. – Vol. 145. – P. 341-348.
4. Алексанян И.Ю. Исследование влияния температуры на гигроскопические характеристики плодоовощных продуктов [Текст] / И.Ю. Алексанян, Ю.С. Федунова, Ю.А. Максименко // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2017. – № 4. – С. 86-89.
5. Ананских В.В. Ресурсосберегающая технология переработки яблок [Текст] / В.В. Ананских, В.А. Бабушкин, О.В. Перфилова [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2017. – № 6 (20). – С. 21-28.

6. Karim M.A., Joardder M.U.H. Drying kinetics and properties evolution of apple slices under convective and intermittent-MW drying // Thermal Science and Engineering Progress. – 2022. – Vol. 30. – P. 1-7.
7. Ferreira S.V., Lima M.S., Silva L.C.M., Oliveira D.E.C., Leão P.V.T., Silva M.A.P. Modelagem e cinética de secagem da Curcuma longa L. sob convecção = Modeling kinetics of convective drying of Curcuma longa L. // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. – 2021. – Vol. 25. – No. 3. – P. 197-202.
8. Ali Redha A., Koca I., Pashazadeh H. Effect of convective drying on phenolic acid, flavonoid and anthocyanin content, texture and microstructure of black rosehip fruit // Journal of Food Composition and Analysis. – 2024. – Vol. 185. – P. 1-8.
9. Amiri Chayjan R., Aghilinategh N., Banakar A., Motevali A., Younji S. Drying kinetics of dill leaves in a convective dryer // International Agrophysics. – 2013. – Vol. 27. – No.1. – P. 39-47.
10. Hashim H., As'Ari N.A., Yee C.K. Effect of drying on phenolic content and antioxidant activity of Javanese coriander leaf (*Eryngium foetidum*) = Kesan pengeringan terhadap kandungan fenol dan aktiviti antioksidasi daun ketumbar Jawa (*Eryngium foetidum*) // Sains Malaysiana. – 2022. – Vol. 51. – No. 8. – P. 2559-2571.
11. Castro A., Díaz L., Mayorga E., Moreno F., Quintanilla-Carvajal M. Convective drying of feijoa (*Acca sellowiana* Berg): A study on bioactivity, quality, and drying parameters // LWT – Food Science and Technology. – 2023.
12. Castro A., Diaz L., Mayorga E., Moreno F., Quintanilla-Carvajal M. Convective drying of feijoa fruits: Pretreatment methods and target // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2021. – Vol. 37(555). – P. 116-124.
13. Chikpah S., Korese J., Sturm B., Hensel O. Colour change kinetics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) slices during convective air drying and bioactive compounds of the dried products // Journal of Agriculture and Food Research. – 2022. – Vol. 10. – P. 100409.
14. Zhang A.A., Ni J.B., Martynenko A., Chen C., Fang X.M., Ding C.J., Chen J., Zhang J.W., Xiao H.W. Electrohydrodynamic drying of citrus (*Citrus sinensis* L.) peel: Comparative evaluation on the physicochemical quality and volatile profiles // Food Chemistry. – 2023. – Vol. 429. – P. 136832.
15. Casim S., Contigiani E., Mazzobre F., Romero-Bernal A.R. Design of apple snacks: A study of the impact of calcium impregnation method on physicochemical properties and structure of apple tissues during convective drying // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2023. – Vol. 85. – P. 1-10.

*Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған АР19678142-КС-24 «Жемістерді кептіру үшін кептіру жабдығын әзірлеу және масса алмасуды зерттеу» жоба аясында орындалды.*

*Материал редакцияға 01.07.25 түсті, 23.09.25 қабылданды.*

**Ш.Е. Дуисебаев<sup>1,2</sup>, М.И. Сатаев<sup>1,2</sup>, А.М. Азимов<sup>1,2</sup>,  
Ж.С. Аширбаев<sup>1,2</sup>, Н.В. Алексеева<sup>1</sup>, З.М. Шакирьянова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ТОО «InnovTechProduct», г. Шымкент, Казахстан

<sup>2</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова,  
г. Шымкент, Казахстан

#### **СПОСОБ СУШКИ ФРУКТОВ И ЯГОД В ЭФФЕКТИВНЫХ УСЛОВИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЗОВОГО СУШИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Аннотация.** В работе исследовано влияние температуры нагрева при газовой сушке фруктов на массовую долю влаги в готовом продукте. Газовая сушка является

перспективным методом консервирования продукции, позволяющим производить сухофрукты, способные обеспечивать необходимыми питательными веществами в течение всего года. Подробные эксперименты в данной статье направлены на установление оптимальных режимов сушки фруктов. Для анализа экспериментов использовались стандартные методики в соответствии с действующими в Казахстане нормативными документами. Предложены схемы конвективной сушки плодов на юге Казахстана. Согласно разработанным схемам установлено, что температура нагрева при сушке оказывает существенное влияние на качество конечного продукта. Анализ показывает, что увеличение температуры нагрева приводит к сокращению времени сушки. Определена максимальная скорость превращения относительной массы высушенного продукта за указанное время. Кроме того, установлено, что на максимальную скорость испарения влаги влияют температура, размер и структура свежего сырья. Проведена сенсорная оценка основных показателей качества: вкуса, цвета, запаха и консистенции. Определены оптимальные характеристики показателей. Их извлечение производилось при температуре нагрева 50-65°C. Многочисленные эксперименты показали, что необходимо рекомендовать параметры газовой сушки. Для абрикосов температура газовой сушки составляет 55-65°C, для слив – 60-65°C. Такие результаты будут полезны в технологии переработки фруктов и овощей.

**Ключевые слова:** газовая сушка, температура, фрукты, абрикосы, сливы, анализ.

Sh. Duissebayev<sup>1,2</sup>, M.I. Satayev<sup>1,2</sup>, A. Azimov<sup>1,2</sup>,  
Zh. Ashirbayev<sup>1,2</sup>, N. Alexeyeva<sup>1</sup>, Z. Shakiryanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LLP "InnovTechProduct", Shymkent, Kazakhstan

<sup>2</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

#### METHOD OF DRYING FRUITS AND BERRIES UNDER EFFICIENT CONDITIONS USING GAS DRYING EQUIPMENT

**Abstract.** This study investigates the effect of heating temperature during gas drying of fruits on the moisture content of the final product. Gas drying is a promising preservation method that enables the production of dried fruits capable of supplying essential nutrients throughout the year. The detailed experiments in this article are aimed at determining the optimal fruit drying regimes. Standard methodologies in accordance with the current regulatory documents of Kazakhstan were used for experiment analysis. Schemes of convective fruit drying in southern Kazakhstan are proposed. According to the developed schemes, it was established that the heating temperature during drying has a significant effect on the quality of the final product. The analysis shows that increasing the heating temperature reduces the drying time. The maximum rate of change in the relative mass of the dried product within the specified time was determined. In addition, it was found that the maximum rate of moisture evaporation depends on temperature, size, and structure of the fresh raw material. A sensory evaluation of key quality indicators – taste, color, aroma, and texture – was conducted. The optimal characteristics of these indicators were determined. Extraction was carried out at a heating temperature of 50-65°C. Numerous experiments showed the necessity of recommending parameters for gas drying. For apricots, the gas drying temperature is 55-65°C; for plums, 60-65°C. These results may be useful in fruit and vegetable processing technology.

**Keywords:** gas drying, temperature, fruits, apricots, plums, analysis.

#### References

1. Gridneva, E.E., Kaliakparova, G.Sh., Kalmanova, N.M. Plodoovoshnaya otrasl' yuzhno-kazakhstanskogo regiona: sostoyanie i perspektivy [Fruit and vegetable

- industry of the South Kazakhstan region: state and prospects] // Problems of Agrarian Market. Foresight-Kazakhstan. – 2020. – No. 3. – P. 180-186. [in Russian].
2. Evlash, V.V., Gavrish, A.V., Kravchenko, A.I., Nemirich, Tarasenko, T.A., Vasheka, A.M. Teoreticheskoe issledovanie sposobov sushki ovoshchey i fruktov [Theoretical study of methods of drying vegetables and fruits] // Scientific Bulletin of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytskyi. – 2015. – Vol. 17. – No. 4 (64). – P. 148. [in Russian].
  3. Górnicki K., Janaszek M., Kaleta A., Martynenko A., Winiczenko R. Multi-objective optimization of convective drying of apple cubes // Computers and Electronics in Agriculture. – 2018. – Vol. 145. – P. 341-348.
  4. Aleksanyan, I.Yu., Fedunova, Yu.S., Maksimenko, Yu.A. Issledovanie vliyaniya temperatury na gigroskopicheskie kharakteristiki plodoovoshchnykh produktov [Study of the effect of temperature on the hygroscopic characteristics of fruit and vegetable products] // Technologies of Food and Processing Industry of Agro-Industrial Complex – Healthy Nutrition Products. – 2017. – No. 4. – P. 86-89. [in Russian].
  5. Ananskikh, V.V., Babushkin, V.A., Perfilova, O.V. i dr. Resursosberegayushchaya tekhnologiya pererabotki yablok [Resource-saving technology of apple processing] // Technologies of Food and Processing Industry of Agro-Industrial Complex – Healthy Nutrition Products. – 2017. – No. 6 (20). – P. 21-28. [in Russian].
  6. Karim M.A., Joardder M.U.H. Drying kinetics and properties evolution of apple slices under convective and intermittent-MW drying // Thermal Science and Engineering Progress. – 2022. – Vol. 30. – P. 1-7.
  7. Ferreira S.V., Lima M.S., Silva L.C.M., Oliveira D.E.C., Leão P.V.T., Silva M.A.P. Modelagem e cinética de secagem da Curcuma longa L. sob convecção = Modeling kinetics of convective drying of Curcuma longa L. // Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. – 2021. – Vol. 25. – No. 3. – P. 197-202.
  8. Ali Redha A., Koca I., Pashazadeh H. Effect of convective drying on phenolic acid, flavonoid and anthocyanin content, texture and microstructure of black rosehip fruit // Journal of Food Composition and Analysis. – 2024. – Vol. 185. – P. 1-8.
  9. Amiri Chayjan R., Aghilinategh N., Banakar A., Motevali A., Younji S. Drying kinetics of dill leaves in a convective dryer // International Agrophysics. – 2013. – Vol. 27. – No.1. – P. 39-47.
  10. Hashim H., As'Ari N.A., Yee C.K. Effect of drying on phenolic content and antioxidant activity of Javanese coriander leaf (*Eryngium foetidum*) = Kesan pengeringan terhadap kandungan fenol dan aktiviti antioksidasi daun ketumbar Jawa (*Eryngium foetidum*) // Sains Malaysiana. – 2022. – Vol. 51. – No. 8. – P. 2559-2571.
  11. Castro A., Díaz L., Mayorga E., Moreno F., Quintanilla-Carvajal M. Convective drying of feijoa (*Acca sellowiana* Berg): A study on bioactivity, quality, and drying parameters // LWT – Food Science and Technology. – 2023.
  12. Castro A., Díaz L., Mayorga E., Moreno F., Quintanilla-Carvajal M. Convective drying of feijoa fruits: Pretreatment methods and target // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2021. – Vol. 37(555). – P. 116-124.
  13. Chikpah S., Korese J., Sturm B., Hensel O. Colour change kinetics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) slices during convective air drying and bioactive compounds of the dried products // Journal of Agriculture and Food Research. – 2022. – Vol. 10. – P. 100409.
  14. Zhang A.A., Ni J.B., Martynenko A., Chen C., Fang X.M., Ding C.J., Chen J., Zhang J.W., Xiao H.W. Electrohydrodynamic drying of citrus (*Citrus sinensis* L.) peel: Comparative evaluation on the physicochemical quality and volatile profiles // Food Chemistry. – 2023. – Vol. 429. – P. 136832.
  15. Casim S., Contigiani E., Mazzobre F., Romero-Bernal A.R. Design of apple snacks: A study of the impact of calcium impregnation method on physicochemical properties and structure of apple tissues during convective drying // Innovative Food Science & Emerging Technologies. – 2023. – Vol. 85. – P. 1-10.

FTAMP 65.33.03

М.Е. Ержанова<sup>1</sup> – негізгі автор, ©  
Б.Е. Солтыбаева<sup>2</sup>, А.К. Садыбаев<sup>3</sup>,  
А.С. Боранкулова<sup>4</sup>, А.С. Умирбекова<sup>5</sup>, Л.Ж. Алашбаева<sup>6</sup>



<sup>1</sup>Техн. ғылым. канд., қауымдас. профессор, <sup>2,4,6</sup>PhD, қауымдас. профессор м.а.,  
<sup>3</sup>Техн. ғылым. канд., қауымдас. профессор м.а., <sup>5</sup>Магистр, аға оқытушы

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-6496-2693> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3260-4429>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-0427-3025> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-1229-753X>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-8175-1030> <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0003-3099-5988>



<sup>1,2,3,4,5,6</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті,



Тараз қ., Қазақстан



<sup>1</sup>[mira\\_dias@mail.ru](mailto:mira_dias@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/NUWB9743>

## ҚАУЫН ҰТАҒЫ ҚОСЫЛҒАН ҰЛТТЫҚ НАН ӨНІМДЕРІН ӨНДІРУДІҢ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа.** Мақалада азық-түлік өнімдерінің ассортиментін және нан өнімдерінің тағамдық құндылығын кеңейтуге бағытталған кептірілген қауын ұнтағын пайдалану перспективалары қарастырылады. Бұл мақала нан өнімдерін өндіруде кептірілген қауын ұнтағын алмастырғыш ретінде пайдаланудың негіздемесін береді. Қауын ұнтағы дәрумендерге өте бай, оның құрамында витаминдер, бета-каротин, минералдар, фруктоза, органикалық қышқылдар, пектин өте көп. Зерттеу жаңалығы нан өнімдерін дәрумендермен байыту мақсатында ұлттық нан өніміне құрғақ ұнтақталған қауынды енгізу болып табылады. Зерттеу нәтижесінде құрғақ ұнтақталған қауын қосылған ұлттық нанның физика-химиялық көрсеткіштері, органолептикалық көрсеткіштері анықталды. Қауын ұнтағын ұлттық нан өніміне енгізу, өндірілетін өнімдердің ассортиментін кеңейтуді, нан өнімдерінің сапалық көрсеткіштерін жақсартуды қамтамасыз етеді және олардың сақтау мерзімін арттырады. Мақалада кептірілген қауын ұнтағы қосылған ұлттық нанның рецепті ұсынылған және жергілікті ұннан функционалдық қоспасы бар нан өндіру технологиясы зерттелді.

**Тірек сөздер:** ұлттық нан, қауын ұнтағы, витаминдер, қышқылдық, органолептикалық көрсеткіштер.



Ержанова, М.Е. Қауын ұнтағы қосылған ұлттық нан өнімдерін өндірудің технологиясын зерттеу [Мәтін] / М.Е. Ержанова, Б.Е. Солтыбаева, А.К. Садыбаев, А.С. Боранкулова, А.С. Умирбекова, Л.Ж. Алашбаева // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.82-90.  
<https://doi.org/10.55956/NUWB9743>

**Кіріспе.** Адам ағзасына қажетті қауіпсіз және жоғары сапалы тағам өнімдерін, соның ішінде функционалды бағыттағы өнімдерді жасауда ауыл шаруашылық өнімдерін тиімді өңдеу өзекті мәселе болып табылады. Тақырыптың өзектілігі – дәстүрлі емес қоспа-қауын ұнтағын нан өнімдеріне қосып, оның тағамдық құндылығын арттыру мақсатында зерттеулер жүргізу, оның нәтижелерін талдау болып табылады.

Қауын орта ғасырларда Ресейде белсенді түрде өсірілді. 17 ғасырдағы шетелдік қонақтар ресейлік қауындардың дәмі мен мөлшерін таңданыспен еске алды. Қауын Ресейге Орталық Азиядан келді, онда бұл жемістерді өсіру өнері керемет биіктерге жетті және бұл шамамен 800-900 жыл бұрын болды. Бірақ қауынның тарихы туралы басынан бастап айтатын болсақ, оны ең бірінші бағалаған адамдар Ежелгі Египет тұрғындары болды. Содан кейін қауын құнарлы топырақтарымен әйгілі болған Ніл аңғарында өсті. Мысырлықтар қауындарды жаппай өсірумен айналысты, сонымен қатар оларды пирамидаларда, перғауындардың денелерінің қасында қалдырды. Ғалымдар әлі бір шешімге келген жоқ. Қауын деп нені қарастыру керек – көкөніс, жеміс немесе жидек. Шындығында, қауын – қиярмен бір тұқымдасқа жататын жалған жидек. Қауын мен қияр жақын туыс, сондықтан қауынды көкөніс деп атаған дұрыс.

Қазіргі заманғы өнеркәсіпте бақша өнімдерін азық-түлік, жемдік және техникалық мақсатта пайдаланады [1]. Сонымен, тағамдық мақсатта қауыннан бал, меласса, консервіленген шырын, құрғақ шырын ұнтағы т.б. алынады. Қауын ұнтағы витаминдерге, бета-каротинге, минералды заттарға (Mg, Fe, K, P, Ca), фруктозаға, органикалық қышқылдарға, пектинге бай. Қауын ұнтағын тағам өнімдерінің тұтынушылық қасиеттерін жақсарту үшін биологиялық белсенді қоспа ретінде пайдалануға болады. 1-кестеде қауынның химиялық құрамы және тағамдық құндылығы келтірілген.

Кесте 1

Қауынның химиялық және тағамдық құндылығы [2]

Негізгі құрамы (100 г)	Балды қауын
Су	89,82
Көмірсулар	9,09
Қант	8,12
Талшықтар	0,8
Ақуыздар	0,54
Майлар	0,14
Калориялар (кКал)	36
<b>Минералдар (мг/100 г)</b>	
Калий	228
Натрий	18
Фосфор	11
Магний	10
Кальций	6
Темір	0,17
Цинк	0,09
Мыс	0,024
<b>Витаминдер (мг/100 г)</b>	
Витамин С	18
Витамин РР	0,418
Витамин В6	0,088
Витамин В1	0,038
Витамин Е	0,02
Витамин В2	0,012

Салауатты өмір салтын сақтаудың бір жолы – күнделікті рационға биологиялық белсенді заттармен, тағамдық талшықтармен, полиқаньқпаған

май қышқылдарымен байытылған өнімдерді қосу. Өнімдердің бұл тобына функционалды (байытылған) және диеталық нан өнімдері кіреді [3,4].

Мақаланың мақсаты – кептірілген қауын ұнтағы қосылған нанды дайындау әдісін зерттеп, рецептісін жасау.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Қауын ұнтағы қосылған ұлттық нанның сапасын анықтау бойынша тәжірибелік зерттеулер М.Х. Дулати атындағы Тараз университетінің Perten Instruments (Швеция), Chopin Instruments (Франция) ірі өндірушілерінің соңғы заманауи жабдықтарымен жабдықталған «А.С. Ахметов атындағы наноинженерлік зерттеу әдістері» инженерлік бейіндегі ғылыми зерттеу зертханасы мен «Тамақ өндірісі және биотехнология» кафедрасында, сондай-ақ Алматы технологиялық университетінің «Тамақ өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін бағалау» ғылыми-зерттеу зертханасында жүргізілді. Зерттеу объектілері ретінде рецепт бойынша қауын ұнтағы енгізілген ұлттық нанның үлгілері алынды. Нандарды дайындау үшін келесі ингредиенттер пайдаланылды: ұн, тұз, ашытқы, су. Зерттелетін ингредиент ретінде қауын ұнтағы пайдаланылды. Зерттеу нәтижесінде нан өнімдерінің бес сынамасы дайындалды, оның төртеуі тәжірибелік (№1 үлгі – бақылау, сынама №2 – 1%, №3 үлгі – 2%, №3 үлгі – 3%, №4 үлгі – 4%). Нандар сынақ зертханалық пісіру барысында ашытқысыз қамыр әдісімен дайындалды. Дайын үлгілердің сапасы органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштер бойынша бағаланды (қышқылдық – ГОСТ 5670-96, ылғалдылық – ГОСТ 21094-75).

Органолептикалық бағалауды әзірленген 5 балдық шкала бойынша 6 адамнан тұратын сараптамалық комиссия жүргізді. Үлгілердің дәмінің қарқындылығы профильграмма ретінде келесі бағалау шкаласымен ұсынылды: 0 – ерекшелігі жоқ; 1 – тек танылатын немесе сезілетін; 2 – әлсіз қарқындылық; 3 – орташа қарқындылық; 4 – күшті; 5 – өте күшті қарқындылық. Негұрлым объективті сапаны бағалау үшін пісіру үш рет қайталанды.

Нанның физика-химиялық көрсеткіштерін анықтау үшін келесі әдістер қолданылды: ылғалдылық пен құрғақ затты анықтау (МЕМСТ 5670-96), қышқылдылықты анықтау (МЕМСТ 50457-92), майдың қышқылдылық санын анықтау (МЕМСТ 51487-99). Зерттеулер Алматы технологиялық университетінің «Тамақ өнімдерінің сапасы мен қауіпсіздігін бағалау» ғылыми-зерттеу зертханасында жүргізілді. Дайын өнімге дегустациялық бағалау жасалынды. Дегустацияға 6 дегустатор шақырылып, органолептикалық көрсеткіштері бағаланды. Дегустацияға дайын өнімнің 4 үлгісі алынды.

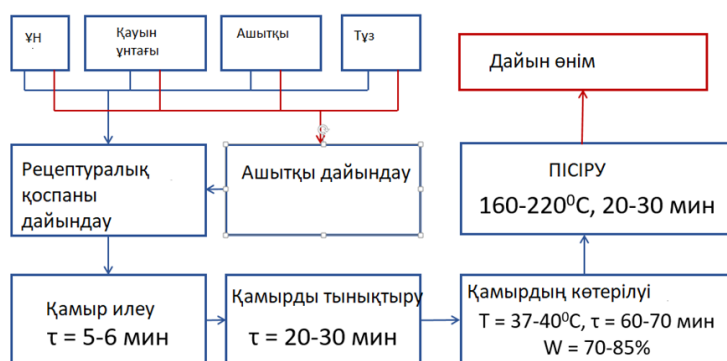
**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** Зерттеу барысында қауынның ұнтағымен байыту мақсатында ұлттық нанның 4 түрлі үлгіде рецептурасы (2-кесте) және технологиялық сұлбасы дайындалды (1-сурет).

## Кесте 2

Қауын ұнтағы қосылған ұлттық нан рецептурасы (100 г), %

Ингредиенттер	Бақылау үлгісі	Қауын ұнтағы қосылған үлгілер			
	Қоспасыз	1%	2%	3%	4%
Бидай ұны, 1 сорт, г	100	99	98	97	96
Қауын ұнтағы, г	-	1	2	3	4
Ашытқы		1			
Тұз		0,5			
Су		есеппен			

Қауын ұнтағы нан өндірісінде қоспа ретінде пайдаланылды. Қауын ұнтағында шамамен 70% қант бар, оның 40%-ға дейін фруктоза, 35%-ға дейін глюкоза, 5%-ға дейін сахароза болады [5,6]. Пектиннің мөлшері шамамен 4%, клетчатка – 12%, ақуыз – 5%, органикалық қышқылдар – 1,5%. Тәжірибелер барысында нан екі нұсқада пісірілді: қоспасыз (бақылау) және қауын ұнтағы қосылған (ұн салмағының 1%, 2%, 3% және 4%). Бірінші сұрыпты бидай ұнынан жасалған нан опарасыз қамыр әдісімен [7-9] зертханалық жағдайда дайындалды. Әр үлгінің салмағы 100 г құрайтын бес сынама зертханалық пеште пісірілді. Бақылау үлгісі (бірінші сынама) қоспасыз дайындалды. Нанның сапасы нақты көлемі, үгіндісінің күйі және кеуектілігі бойынша бағаланды. Ұлттық нанды дайындаудың структуралық сұлбасы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1. Ұлттық нанды дайындаудың структуралық сұлбасы

Қамыр зертханалық жағдайда опарасыз қамыр әдісімен, бірінші сұрыпты бидай ұнын (Т. Рысқұлов ауданы) В – 45,0% пайдаланып, бастапқы температурасы 28-30°C жағдайда дайындалды. Шикізат 7-8 минут бойы араластырылды.

Араластырылған қамыр 170 минутта ашыту үшін 32-35°C температурадағы термостатқа қойылды. Ашыту процесінде екі рет илеу үрдісі жүргізілді. Бірінші илеуден кейін (60 мин) ыдыстардағы жартылай фабрикаттың бүкіл массасы оның органолептикалық қасиеттерін бағалау үшін зерттелді. Ашытқысыз қамыр әдісімен дайындалған қауын ұнтағы қосылған ұлттық нанның органолептикалық көрсеткіштері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2

Ұлттық нанның органолептикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Бақылау үлгісі	Кептірілген қауын ұнтағының мөлшері			
		1%	2%	3%	4%
1	2	3	4	5	6
Формасы	Дұрыс	Дұрыс, мыжылмаған		Дұрыс, бірақ биіктігі төмен	
Қабығының сипаттамасы	Дөнес, ұсақ жарықтар	Шамалы бұдыры бар, жарықтар жоқ		Дөнес, бұдыры бар, ұсақ жарықтар	
Қабығының түсі	Ашық қоңыр	Қоңыр		Қара-қоңыр	
Жұмсақ бөлігінің серпімділігі	Жұмсақ, серпімді	Жұмсақ, серпімді		Орташа серпімді, құрғақ, тығыздалған	

2-кестенің жалғасы

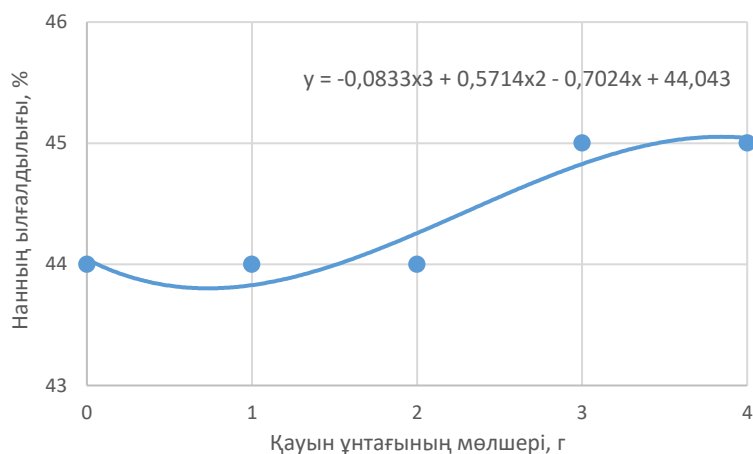
1	2	3	4	5	6
Кеуектілік құрылымы	Біркелкі, жұқа қабырғалы	Майда, қалың қабырғалы			
Нан жұмсағының түсі	Ашық сары	Сұрғылт сары	Сұр түсті		
Дәмі	Бидай нанына тән	Жағымды нан дәмі	Жағымды, нан дәмі, сәл тәтті дәм		
Иісі	Жағымды, қош иісті	Қош иісті	Кептірілген қауын ұнтағының әлсіз иісі		
Нанның шайналу қабілеті	Жақсы	Жақсы	Үгітіледі		

Нанды пісіру S400 пешінде (Швеция) пісіру камерасын ылғалдандыру арқылы 200-220°C температурада жүргізілді. Пісіру уақыты 30-35 минут болды. Үлгілер нан пісіргеннен кейін 3 сағаттан кейін талданды (2-сурет).

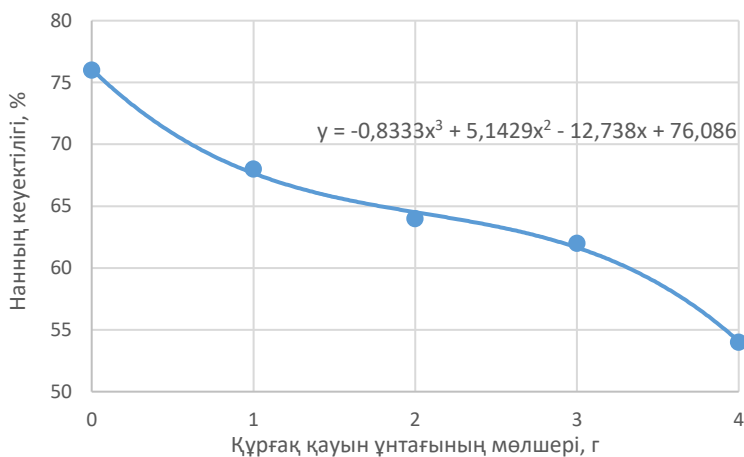


Сурет 2. Дайын ұлттық нанның үлгісі

Нан үлгілері нан пісірілгеннен кейін 3 сағат өткен соң талданды. Үлгілерді таңдау МЕМСТ 5667 талаптарына сәйкес жүргізілді. Нандағы ылғалдың массалық үлесі МЕМСТ 21094-75 бойынша есептелді. Нан үгіндісінің қышқылдығы МЕМСТ 5670-96 бойынша, үгіндінің кеуектілігі Журавлев аппаратында МЕМСТ 5669-96 бойынша анықталды. Төмендегі 3, 4, және 5-суреттерде тиісінше нан ылғалдылығының құрғақ қауын ұнтағының құрамына тәуелділігі, нанның кеуектілігінің құрғақ қауын ұнтағының құрамына тәуелділігі, нан қышқылдығының құрғақ қауын ұнтағының құрамына тәуелділігі бойынша графиктері көрсетілген.



Сурет 3. Нан ылғалдылығының құрғақ қауын ұнтағының құрамына тәуелділігі



Сурет 4. Нанның кеуектілігінің құрғақ қауын ұнтағының құрамына тәуелділігі



Сурет 5. Нан қышқылдылығының құрғақ қауын ұнтағының құрамына тәуелділігі

Суреттерде көрсетілген сызбаларда нанның ылғалдылығы, кеуектілігі және қышқылдылығының құрғақ қауын ұнтағының мөлшеріне тәуелділігі берілген. Зерттеу нәтижелері бойынша, қауын ұнтағының мөлшері артқан сайын нанның ылғалдылығы біртіндеп жоғарылайтыны байқалады. Бұл құбылысты қауын ұнтағының ылғал байланыстыру қабілетінің жоғары болуымен түсіндіруге болады. Сонымен қатар, нанның кеуектілігі ұнтағының мөлшері өскен сайын төмендейтіні анықталды, яғни құрылымының тығыздалғаны байқалады. Ал қышқылдылық көрсеткіші керісінше жоғарылады.

**Қорытынды.** Жүргізілген зерттеу жұмыстарының нәтижелері бойынша қорытындылай келе дайын өнімнің сапасын сақтау, сонымен қатар дайын өнімнің тағамдық құндылығын арттыру және С дәруменімен байыту үшін өндіріске кептірілген ұнтақталған итмұрынды енгізу мүмкіндігі зерттелді, кептірілген және ұнтақталған итмұрын қосылған құрт өндіру технологиясы әзірленді.

Қауынның ұнтағы қосылған нанды талдау нәтижесі қауын ұнтағын қосу нан өнімінің сапасына оң әсер ететінін көрсетті. Нанның титрленетін қышқылдығы  $6,5^\circ$  құрады, бұл өнімнің осы түріне арналған нормаға сәйкес келеді және қамырдың қалыпты ашыту процесін және қышқылдықтың теңгерімді дамуын көрсетеді. Нан өнімдерінің қышқылдық көрсеткіштері МЕМСТ 5670-96 және МЕМСТ 50457-92 талаптарына сәйкес анықталды. Сонымен қатар дайын өнімнің органолептикалық көрсеткіштері бағаланып, тағамдық және энергетикалық құндылығы есептелді.

Дәстүрлі емес шикізатты пайдаланып нан өнімдерінің рецепті әзірленді. Зерттеу нәтижелері Жамбыл облысында өсірілген бидай дәнінен алынған бидай ұнының негізгі компоненттеріне дәстүрлі емес шикізаттың әртүрлі дозаларының әсерін анықтаудан тұрды.

Регрессиялық модельдерді пайдалана отырып, жауап беттерінен алынған нәтижелерді талдау нанның органолептикалық көрсеткіштерінің максималды мәні пісіру температурасында  $T = 180^\circ\text{C}$ , пісіру уақыты  $t = 25$  мин) және кептірілген қауын ұнтағының құрамында  $m = 2$  г болғанын көрсетті. Бұл жағдайда нанның органолептикалық көрсеткіштерінің максималды мәні  $Y = 8,9-9$  балл болды.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Калачев, М.В. Малые предприятия для производства хлебобулочных и макаронных изделий [Текст] / М.В. Калачев. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 288 с.
2. Калорийность дыни и полный состав [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edaplus.info/composition-calorie/melon-berry.html>.
3. Нечаев, А.П. Пищевая химия [Текст] / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова [и др.] / Под ред. А.П. Нечаева. – СПб.: ГИОРД, 2001. – 592 с.
4. Шепелев, А.Ф. Товароведение и экспертиза электротоваров [Текст]: учебное пособие для вузов / А.Ф. Шепелев, И.А. Печенежская. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. – 192 с.
5. Федотов, В.А. Информационно-измерительная система определения потребительских свойств пшеницы [Текст] / В.А. Федотов, П.В. Медведев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 3. – С. 140-145.
6. Rolim P.M., Fidelis G.P., Padilha C.E.A., Santos E.S., Rocha H.A.O., Macedo G.R. Phenolic profile and antioxidant activity from peels and seeds of melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*) and their antiproliferative effect in cancer cells // Braz. J. Med. Biol. Res. – 2018. – Vol. 51(4). – P e6069.

7. Прокофьева, И.В. Технология хлеба и хлебобулочных изделий [Текст] / И.В. Прокофьева. – М.: КолосС, 2016. – 320 с.
8. Сулейманов, С.Б. Технология производства хлеба [Текст]: учебное пособие / С.Б. Сулейманов. – Казань: Изд-во КГТУ, 2019. – 210 с.
9. Орымбетова, Г.Э. Разработка технологии производства сокосодержащих напитков из дыни и яблок [Текст] / Орымбетова Г.Э., Шамбулова Г.Д., Абдижаппарова Б.Т., Орымбетов Э.М. //Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие». – М., 2019. – С.192-195.

*Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған BR24992867 «Қазақстанның су шаруашылығын және қайта өңдеу өнеркәсібін дамыту мен басқаруға арналған ресурсты үнемдейтін технологияларды әзірлеу, инновациялық инжинирингтік орталық құру» жоба аясында орындалды.*

*Зерттеу жұмысын орындау барысында қолдау көрсеткен М.Х. Дулати атындағы Тараз университетінің «А.С. Ахметов атындағы наноинженерлік зерттеу әдістері» инженерлік бейіндегі ғылыми зерттеу зертханасы мен «Тамақ өндірісі және биотехнология» кафедрасының басшылығы мен ғалымдарына алғысымызды білдіреміз.*

*Материал редакцияға 08.08.25 түсті, 17.09.25 қабылданды.*

**М.Е. Ержанова<sup>1</sup>, Б.Е. Солтыбаева<sup>1</sup>, А.К. Садыбаев<sup>1</sup>,  
А.С. Боранқұлова<sup>1</sup>, А.С. Умирбекова<sup>1</sup>, Л.Ж. Алашбаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Таразский университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан*

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА НАЦИОНАЛЬНЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ДОБАВЛЕНИЕМ ДЫННОГО ПОРОШКА**

**Аннотация.** В статье рассматриваются перспективы использования сушёного дынного порошка, направленные на расширение ассортимента пищевых продуктов и повышение пищевой ценности хлебобулочных изделий. Данная работа обосновывает возможность применения сушёного дынного порошка в качестве заменителя при производстве хлеба. Дынный порошок богат витаминами, в его составе содержатся витамины, бета-каротин, минеральные вещества, фруктоза, органические кислоты, пектин. Научная новизна исследования заключается во введении сухого порошка дыни в состав национального хлеба с целью его обогащения витаминами. В ходе исследования были определены физико-химические и органолептические показатели национального хлеба с добавлением дынного порошка. Использование дынного порошка в национальном хлебопечении способствует расширению ассортимента продукции, улучшению качественных показателей хлебобулочных изделий и увеличению срока их хранения. В статье приведён рецепт национального хлеба с добавлением сушёного дынного порошка и изучена технология производства хлеба с функциональной добавкой из местной муки.

**Ключевые слова:** национальный хлеб, дынный порошок, витамины, кислотность, органолептические показатели.

**M. Yerzhanova<sup>1</sup>, B. Soltybayeva<sup>1</sup>, A. Sadibayev<sup>1</sup>,  
A. Borankulova<sup>1</sup>, A. Umirbekova<sup>1</sup>, L. Alashbayeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan*

#### **STUDY OF THE TECHNOLOGY FOR PRODUCING NATIONAL BAKERY PRODUCTS WITH MELON POWDER**

**Abstract.** The article discusses the prospects of using dried melon powder aimed at expanding the range of food products and increasing the nutritional value of bakery products. This work provides a rationale for using dried melon powder as a substitute in bread production. Melon powder is rich in vitamins and contains beta-carotene, minerals, fructose, organic acids, and pectin. The novelty of the research lies in the incorporation of dry powdered melon into national bread to enrich it with vitamins. The study determined the physicochemical and organoleptic parameters of national bread with melon powder addition. The introduction of melon powder into national bakery products ensures the expansion of the product range, improvement of quality indicators of bakery goods, and extension of their shelf life. The article presents a recipe for national bread with dried melon powder and examines the technology of producing bread with a functional supplement made from local flour.

**Keywords:** national bread, melon powder, vitamins, acidity, organoleptic indicators.

#### **References**

1. Kalachev, M.V. *Malye predpriyatiya dlya proizvodstva khlebobulochnykh i makaronnykh izdeliy* [Small Enterprises for the Production of Bakery and Pasta Products]. – Moscow: DeLi print, 2008. – 288 p. [in Russian].
2. *Caloric Value of Melon and Full Composition* [Electronic resource]. – Access mode: <https://edaplus.info/composition-calorie/melon-berry.html>. [in Russian].
3. Nechaev, A.P. Traubenberg, S.E., Kochetkova, A.A. et al. *Pishchevaya khimiya* [Food Chemistry] / ed. by A.P. Nechaeva. – St. Petersburg: GIORD, 2001. – 592 p. [in Russian].
4. Shepelev, A.F., Pechenezhskaya, I.A. *Tovarovedenie i ekspertiza elektrotovarov* [Commodity Science and Examination of Electrical Goods]: Textbook for Universities. – Rostov-on-Don: Phoenix, 2002. – 192 p. [in Russian].
5. Fedotov V.A., Medvedev P.V. *Informatsionno-izmeritel'naya sistema opredeleniya potrebitel'skikh svoystv pshenitsy* [Information and Measuring System for Determining the Consumer Properties of Wheat] // *Bulletin of Orenburg State University*. – 2013. – No. 3. – P. 140-145. [in Russian].
6. Rolim P.M., Fidelis G.P., Padilha C.E.A., Santos E.S., Rocha H.A.O., Macedo G.R. Phenolic profile and antioxidant activity from peels and seeds of melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*) and their antiproliferative effect in cancer cells // *Braz. J. Med. Biol. Res.* – 2018. – Vol. 51(4). – P. e6069.
7. Prokofieva, I.V. *Tekhnologiya khleba i khlebobulochnykh izdeliy* [Technology of Bread and Bakery Products]. – Moscow: KolosS, 2016. – 320 p. [in Russian].
8. Suleymanov, S.B. *Tekhnologiya proizvodstva khleba* [Technology of Bread Production]: Textbook. – Kazan: KSTU Publishing House, 2019. – 210 p. [in Russian].
9. Orymbetova, G.E., Shambulova, G.D., Abdizhapparova, B.T., Orymbetov, E.M. *Razrabotka tekhnologii proizvodstva sokosoderzhashchikh napitkov iz dyni i yablok* [Development of Technology for the Production of Juice-Containing Drinks from Melon and Apples] // *Materialy konferentsiy GNII «Natsrazvitie»* [Conference Proceedings of SRII “Natsrazvitie”]. – Moscow, 2019. – P. 192-195. [in Russian].

МРНТИ 65.01.90

И.В. Соболев<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
А.А. Варивода<sup>2</sup>, Л.В. Донченко<sup>3</sup>



<sup>1,2</sup>Канд. техн. наук, доцент, <sup>3</sup>Д-р. техн. наук, профессор

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-0641-6261> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-5931-2119>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-1468-4808>



<sup>1,2,3</sup>ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный университет им.  
И.Т. Трубилина,



г. Краснодар, Россия



<sup>1</sup>[iv-sobol@mail.ru](mailto:iv-sobol@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/CXJQ1799>

## РАЗРАБОТКА НАУЧНОЙ КОНЦЕПЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СПОСОБОВ ХРАНЕНИЯ ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА

**Аннотация.** В работе обоснованы и разработаны режимы хранения яблок в измененной газовой среде путем создания, изолированного «замкнутого контура» из полиэтилена высокого давления; подтверждена целесообразность создания высокоэффективных технологий при хранении свежих плодов в регулируемой атмосфере, в биоактивных бактерицидных упаковках и путем создания микропленки на поверхности плодов. Доказана перспективность применения прогрессивного метода хранения плодов в измененной газовой атмосфере путем создания, изолированного «замкнутого контура» в отдельно взятой холодильной камере без применения дорогостоящего оборудования (в нормальной и субнормальной газовой среде). Разработаны новые технологии хранения плодов яблони, подверженных инфекционным и физиологическим заболеваниям, на основе усовершенствованных способов хранения с минимальными потерями. Применен способ дополнительной обработки плодов перед закладкой на хранение биологически активными препаратами, снижающими развитие микробных поражений.

**Ключевые слова:** яблоки, хранение, модифицированная газовая среда, замкнутый контур, поверхностная обработка, биоактивные покрытия, бактерицидные упаковки.



Соболев, И.В. Разработка научной концепции экологически безопасных промышленных способов хранения продукции растениеводства [Текст] / И.В. Соболев, А.А. Варивода, Л.В. Донченко // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.91-99. <https://doi.org/10.55956/CXJQ1799>

**Введение.** Значительная часть выращенной плодовой продукции теряется при хранении, часто эти потери по некоторым видам достигают 30%, а иногда и 50%. Поэтому разработка высокоэффективных технологий хранения является актуальными на сегодняшний день.

Все способы хранения плодов в измененной газовой атмосфере могут классифицироваться по типу используемой среды, способу управления, методам создания среды и т.д. [1-3].

История развития способов хранения плодоовощной продукции показывает, что в большинстве случаев используется атмосферный воздух и его отдельные компоненты. Хранение в искусственно созданных газах (например, озоне) не нашло широкого применения на практике в силу их высокой стоимости или малой эффективности (для плодов).

Основываясь на газовом составе атмосферного воздуха и в зависимости от типа созданной на его основе среды проведены исследования по хранению плодов яблок:

- в модифицированной газовой среде;
- с нанесением на поверхность плодов биологически активных препаратов.

Достоинства хранения плодов и овощей в модифицированной (МГС) и регулируемой (РГС) газовых средах известны давно. Применение такого метода хранения тормозит процесс дыхания растительной продукции, и как следствие, продлевает сроки хранения и улучшает лежкость и сохраняемость продукции. При этом в значительной мере снижается повреждение продукции физиологическими и микробиологическими заболеваниями, сохраняется иммунитет, улучшается качество товарной продукции, повышается ее выход [3-6].

Основой биохимических и физиологических процессов, проходящих при созревании плодов является процесс дыхания, при котором происходит активное выделение энергии, в виде тепла, углекислого газа и воды [7-10].

На скорость процесса дыхания в растительных клетках, наряду с температурой и влажностью, важную роль оказывает состав газовой среды – соотношение  $O_2$  и  $CO_2$ . Следовательно, данные о влиянии компонентов газовой среды на интенсивность процесса дыхания, представляют особый интерес [11-14].

Активаторами  $O_2$  в растительных клетках являются окислительно-восстановительные (полифенолоксидаза, цитохромоксидаза, аскорбинатоксидаза и др.) и флавопротеиновые ферменты. Наибольшую активность они могут проявлять на заключительных этапах дыхания. Изменение содержания  $CO_2$  и  $O_2$  влияет на активность оксидаз. Так, при низких концентрациях  $O_2$  повышается активность пероксидазы и цитохромоксидазы, но снижается активность флавопротеиновых ферментов. При этом активность аскорбинатоксидазы и полифенолоксидазы занимает среднее положение.

Высокое содержание  $CO_2$  (до 7...10%) резко замедляют процесс дыхания в результате инактивации цитохромоксидазы, карбоксилазы, пируватдегидрогеназы и др., а следовательно, снижают процессы метаболизма в плодах.

Переход от фазы созревания плодов в фазу старения (перезревания) характеризуется изменением активности ферментативных систем, катализирующих тот или иной процесс [15-18].

Поэтому перспективным и актуальным является разработка метода хранения плодов в модифицированной газовой среде путем создания изолированного контура и системы снижения потерь плодов на основе проведения комплексных послеуборочных обработок биологически активными препаратами.

**Условия и методы исследования.** Объектами являлись плоды яблок перспективных сортов Гала и Флорина, выращенные в почвенно-климатических условиях Краснодарского края (Россия). Исследования

проводились в ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», на факультете пищевых технологий.

Целью исследований являлось исследование лежкости и сохраняемости сортов яблок в условиях модифицированных газовых сред и возможности снижения потерь плодов после проведения дополнительной обработки биологически активными препаратами.

Для создания модифицированных газовых сред использовали полиэтиленовую (п/э) пленку, толщиной 40, 60 и 120 мкм.

Для дополнительной обработки плодов применяли биологически активный препарат Фитоспортин-М. Он защищает растения от грибковых и бактериальных заболеваний в процессе вегетации. Выдвигается гипотеза, что аналогичное действие будет проявляться и в процессе хранения плодов.

Аналитические и экспериментальные исследования основывались на макроскопической теории газов, современных представлениях о физиологическом состоянии объектов хранения, теории массообмена, технологиях хранения различных плодов.

Плоды яблок исследуемых сортов укладывали в ящики и помещали в полиэтиленовую пленку различной толщины, параллельно закладывали контрольный образец, без пленки. Также были заложены на хранение плоды, обработанные раствором Фитоспорин-М. Все подготовленные образцы хранили в холодильнике при температуре 0...+2°C.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Проведенные исследования показали, что при хранении яблок в модифицированной газовой среде (МГС) и оптимальных режимах, процесс дыхания проходит наиболее медленно. Так, после 5...7 месяцев хранения активность процесса дыхания у яблок сорта Гала и Флорина составила 55-77 ед., в сравнении с контрольными образцами, заложеными на хранение в обычных условиях.

У яблок сорта Гала исходное состояние характеризуется наименьшей величиной интенсивности дыхания (2,3 мг/кг/ч), которая незначительно выше у яблок сорта Флорина (2,7 мг/кг/ч), но разными сроками климактерического подъема. В контрольном варианте хранения у сорта Гала климактерический подъем дыхания начался через 5,5 мес., у сорта Флорина – через 4 мес. При хранении в пленке толщиной 120 мкм, при повышенном содержании CO<sub>2</sub>, климактерический подъем дыхания был слабо выражен и растянулся во времени.

Сроки наступления климактерического подъема дыхания плодов и крутизна падения коррелируют со скоростью выхода на газовый режим в «изолированном контуре» и со скоростью протекания биохимических процессов. С целью выяснения дыхательного газообмена при хранении яблок в «изолированном контуре», проводилось определение газового состава с помощью газоанализатора ГХП-75. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Из данных таблицы 1 видно, что при хранении плодов в МГС изменение состава газовой среды происходит в сторону повышения содержания углекислого газа и снижения количества кислорода. Активность изменения соотношения углекислого газа и кислорода связана с сортовыми особенностями плодов яблок. Данные приведенные в табл. 1 показывают, что наибольшие изменения газового состава наблюдаются в первые два месяца хранения, затем активность дыхательных процессов замедляется.

В МГС из п/э пленки 40-60 мкм установившийся режим (за счет дыхания плодов) стабилен до конца хранения (7 мес.).

В МГС из п/э пленки 120 мкм газовая среда создавалась также в результате дыхания плодов.

Таблица 1

Содержание O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в модифицированной газовой среде (МГС)

Сорт яблок	Состав воздуха в МГС при хранении, %							
	1 месяц		2 месяца		4 месяца		7 месяцев	
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Сорт Флорина								
П/э пленка 120 мкм	14,5	6,5	13,0	8,0	12,0	9,0	11,4	9,6
П/э пленка 40-60 мкм	18,0	3,0	14,2	6,8	12,8	8,2	12,8	8,2
Сорт Гала								
П/э пленка 120 мкм	15,2	5,8	14,0	7,0	12,5	8,5	12,1	8,9
П/э пленка 40-60 мкм	19,0	1,0	15,3	5,7	13,5	7,5	13,0	8,0

Биохимические показатели качества представлены в таблице 2. Плоды после 7 месяцев хранения в МГС имели хорошую сохранность сухих веществ и сахаров, но более кислый вкус, чем плоды, хранившиеся при свободном доступе воздуха. При этом более высокая кислотность плодов обусловлена, главным образом, содержанием яблочной кислоты, что объясняется ингибирующим действием углекислого газа на интенсивность дыхания.

Изменения массовой доли аскорбиновой кислоты в яблоках под влиянием газовой среды мало отличались от контрольных образцов. Это подтверждает предположение о меньшей зависимости динамики витамина С от состава среды, большую корреляцию с температурным режимом хранения. Повышенное содержание углекислого газа и пониженное содержание кислорода в среде в меньшей мере способствовало созреванию плодов, о чем говорят данные содержания спирта и ацетальдегидов после 7 месяцев хранения. Массовая доля их при хранении в «замкнутом контуре» была минимальной в сравнении с контролем (табл. 2).

Таблица 2

Биохимические показатели исследуемых сортов яблок после 7 месяцев хранения в МГС

Способ хранения	Растворимые сухие вещества, %	Сахара общие, %	Общая кислотность, %	Пектиновые вещества, %		Полифенольные вещества, %	Витамин С, мг %
				Растворимый пектин	Протопектин		
1	2	3	4	5	6	7	8
Сорт Гала							
При закладке на хранение	13,0	12,0	0,33	0,29	0,62	240,0	7,0
Контроль (без обработки)	12,2	10,9	0,22	0,26	0,40	190,0	4,7
В п/э пленке 40 мкр.	12,4	11,2	0,23	0,25	0,44	190,0	5,0

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8
В п/э пленке 60 мкр.	12,5	11,4	0,24	0,23	0,45	196,0	5,5
В п/э пленке 120 мкр.	12,7	11,7	0,26	0,22	0,50	220,0	5,9
Сорт Флорина							
При закладке на хранение	12,0	10,8	0,58	0,34	0,50	150,0	8,8
Контроль (без обработки)	10,3	9,8	0,36	0,13	0,27	123,3	6,9
В п/э пленке 40 мкр.	10,4	9,8	0,38	0,13	0,30	124,5	7,4
В п/э пленке 60 мкр.	10,8	10,0	0,38	0,12	0,32	126,3	7,4
В п/э пленке 120 мкр.	11,3	10,4	0,44	0,13	0,42	131,5	7,7

Следует отметить, что яблоки, хранившиеся в МГС в п/э пленках 40 и 60 мкм, имели также хорошие результаты хранения по товарным и химическим показателям качества (в сравнении с контролем), но уступали яблокам хранившимся в МГС в п/э пленке 120 мкм по всем показателям.

Обработка яблок сорта Флорина перед закладкой на хранение биологическим препаратом Фитоспорин-М (в п/э пленке 40-60 мкм) также положительно повлияла на качество хранения, понизив потери от микробиальной порчи, и сократила разрыв по выходу товарной продукции между плодами, хранившимися в п/э пленке 120 мкм.

Из полученных результатов (табл. 3), видно, что метод хранения яблок в модифицированной газовой среде дает выраженный положительный эффект, так как значительно уменьшаются потери (с 4,5% до 0,4%) от убыли массы и, что очень важно, от микробиологической порчи с 4,6% до 0,8% и физиологических заболеваний, что гарантирует сохранность питательных веществ. При этом выход товарных сортов увеличился на 7-8,5% в зависимости от сорта.

Таблица 3

Товарное качество яблок при хранении в МГС

Метод хранения	За 4 месяца хранения				За 7 месяцев хранения			
	Естеств. убыль, %	Порча, %	Сумма потерь, %	Выход товарной продукции, %	Естеств. убыль, %	Порча, %	Сумма потерь, %	Выход товарной продукции, %
Сорт Флорина								
Контроль	2,4	1,4	3,8	96,2	4,9	3,7	8,6	91,4
В п/э пленке 40 мкм	0,02	0,0	0,02	100,0	0,7	3,1	3,8	96,2
В п/э пленке 60 мкм	0,02	0,0	0,02	100,0	0,6	2,4	3,0	97,0
В п/э пленке 120 мкм	0,01	0,0	0,01	100,0	0,5	1,1	1,6	98,4
Сорт Гала								
Контроль	2,1	2,7	4,8	95,2	4,2	5,1	9,3	90,7
В п/э пленке 40 мкм	0,03	0,0	0,03	100,0	0,6	3,9	4,4	95,6
В п/э пленке 60 мкм	0,03	0,0	0,03	100,0	0,5	2,0	2,5	97,5
В п/э пленке 120 мкм	0,01	0,0	0,01	100,0	0,4	0,7	1,1	98,9

**Заключение.** При хранении яблок в измененной газовой атмосфере необходимо соблюдать следующие требования: на хранение закладывать плоды с высокими показателями качества, в оптимальной зрелости; камеры загружать однородной по лежкости продукцией и сразу после сбора; сорта, восприимчивые к загару, нужно обрабатывать антиоксидантами или биологическими препаратами. Несоблюдение этих условий сокращает сроки хранения, увеличивает потери и значительно снижает качество плодов.

Таким образом, исследования показали, что предлагаемый нами метод хранения яблок в изолированном «замкнутом контуре» с использованием полиэтилена высокого давления с толщиной пленки 120 мкм, без использования дорогостоящего оборудования и материалов для герметизации камер позволяет добиться результатов хранения, близких к хранению яблок в регулируемой среде. Возможно использование существующих емкостей фруктохранилищ, при этом сохраняя постоянный доступ в камеры, что очень важно для хозяйств, выращивающих сравнительно небольшие объемы яблок и не имеющих возможности для строительства отдельных холодильных мощностей.

Инфекционные и физиологические заболевания плодов ежегодно наносят огромный экономический ущерб отрасли. Данная проблема решается за счет обработки безвредными и эффективными препаратами, снижающими микробиологическую нагрузку в пищевых технологиях.

#### Список литературы

1. Pavlath A.E., Orts W. Edible films and coatings: why, what, and how? // *Edible Films and Coatings for Food Applications* / Ed. by M.E. Embuscado, K.C. Huber. – New York: Springer, 2009. – Ch. 1. – P. 1-23.
2. Хасанова, Г.Б. Биоразлагаемые полимеры – путь к устойчивому развитию природы и общества [Текст] / Г.Б. Хасанова // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2014. – Т. 17. – № 18. – С. 323-325.
3. Suput D. Edible films and coatings – sources, properties and application // *Food and Feed Research*. – 2015. – Vol. 42, № 1. – P. 11-22.
4. Morris C., Brody A.L., Wicker L. Non-Thermal Food Processing/Preservation Technologies: A Review with Packaging Implications // *Packaging Technology and Science*. – 2007. – Vol. 20, № 4. – P. 275-286.
5. Ortiz C.M., de Moraes J.O., Vicente A.R., Laurindo J.B., Mauri A.N. Scale-up of the production of soy (*Glycine max* L.) protein films using tape casting: Formulation of film-forming suspension and drying conditions // *Food Hydrocolloids*. – 2017. – Vol. 66. – P. 110-117.
6. Тужиков, О.И. Зеленые полимеры [Текст] / О.И. Тужиков, О.О. Тужников. – Волгоград, 2016. – 80 с.
7. Baldwin E., Hagenmaier R., Bie J. Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. – Boca Raton: CRS Press, 2011. – 460 p.
8. Arvanitoyannis I.S., Stratakos A.C. Application of modified atmosphere packaging and active/smart technologies to red meat and poultry: a review // *Food and Bioprocess Technology*. – 2012. – Vol. 5. – P. 1423-1446.
9. Duen J., Zhao Y. Edible coatings and films and their application on frozen foods // *Hand book of Frozen Food Processing and Packaging* / Ed. by De-Wen Sun. – Boca Raton: CRS Press, 2011. – P. 875-892.
10. Тертышная Ю.В. Биоразлагаемые полимеры: перспективы их применения в промышленности России [Текст] / Ю.В. Тертышная, Л.С. Шильбряева // *Экология и промышленность России*. – 2015. – Т. 19. – № 8. – С. 20-25.
11. Fryer P.J., Versteeg C. Processing technology innovation in the food industry // *Innovation: Management, Policy & Practice*. – 2008. – Vol. 10, № 1. – P. 74-90.

12. Kontominas M. Bioactive Food Packaging. – Lancaster: DEStech Publications, 2015. – P. 381-385.
13. José M.L., Maria G. Shelf life of fresh foal meat under MAP, over wrap and vacuum packaging conditions // Meat Science. – 2012. – Vol. 92. – P. 610-618.
14. Хоконова, М.Б. Способы создания и поддержания в камерах хранилищ газовой среды заданного состава при использовании газообразного азота [Текст] / М.Б. Хоконова // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2021. – № 2 (32). – С. 74-77.
15. Жеруков, Т.Б. Продолжительность и эффективность хранения плодов груши в зависимости от применения различных режимов МГС и сроков съема плодов [Текст] / Т.Б. Жеруков, А.Ю. Кишев // Репутациология. – 2016. – № 3 (41). – С. 54-57.
16. Никитин, А.Л. Хранение яблок: прошлое, настоящее, будущее [Текст] / А.Л. Никитин, М.А. Макаркина. – Орел: Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 2020.
17. Хубаева, Е.Р., Тохтиева Л.Х., Цугкиева В.Б. Совершенствование способов хранения плодов яблони [Текст] / Е.Р. Хубаева, Л.Х. Тохтиева, В.Б. Цугкиева // Материалы Всероссийской научно-практической конференции (заочной): Достижения науки – сельскому хозяйству. – 2017. – С. 215-218.
18. Гурин, А.В. Товарные показатели плодов яблони при хранении в условиях промышленного холодильника с РГС [Текст] / А.В. Гурин // Материалы Всероссийской научно-методической конференции молодых ученых: Актуальные проблемы садоводства России и пути их решения. – 2007. – С. 325-329.

*Материал поступил в редакцию 19.09.25, принят 25.09.25.*

**И.В. Соболев<sup>1</sup>, А.А. Варивода<sup>1</sup>, Л.В. Донченко<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>И.Т. Трубилин атындағы Кубань мемлекеттік аграрлық университеті,  
Краснодар қ., Ресей*

#### **ӨСІМДІК ШЫҒАРМАШЫЛЫҒЫ ӨНІМДЕРІН САҚТАУДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗ ӨНЕРКӘСІПТІК ӘДІСТЕРІНІҢ ҒЫЛЫМИ КОНЦЕПЦИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ**

**Аңдатпа.** Жұмыста жоғары қысымды полиэтиленнен жасалған оқшауланған «жабық контур» құру арқылы алма сақтау режимдері ғылыми тұрғыда негізделіп, жасалды; реттелетін атмосферада, биоактивті бактерицидтік қаптамаларда және жемістердің бетінде микрожабын қалыптастыру арқылы жаңа піскен жемістерді сақтауда жоғары тиімді технологияларды қолданудың мақсаттылығы дәлелденді. Қымбат жабдықты қолданбай-ақ (қалыпты және субқалыпты газдық ортада) жеке тоңазытқыш камерада оқшауланған «жабық контур» құру арқылы өзгертілген газдық атмосферада жемістерді сақтаудың озық әдісін қолданудың болашағы айқындалды. Инфекциялық және физиологиялық ауруларға бейім алмаларды минималды шығынмен сақтау үшін жетілдірілген әдістер негізінде жаңа сақтау технологиялары әзірленді. Жемістерді сақтауға қойғанға дейін биологиялық белсенді препараттармен қосымша өңдеу әдісі қолданылып, микробиалды зақымданулардың дамуы төмендетілді.

**Тірек сөздер:** алма, сақтау, модификацияланған газдық орта, жабық контур, беткі өңдеу, биоактивті жабындар, бактерицидтік қаптамалар.

I.V. Sobol<sup>1</sup>, A.A. Varivoda<sup>1</sup>, L.V. Donchenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

#### DEVELOPMENT OF A SCIENTIFIC CONCEPT OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY INDUSTRIAL SYSTEMS FOR STORING PLANT PRODUCTS

**Abstract.** The paper substantiates and develops storage modes for apples in a modified gas environment by creating an isolated "closed loop" made of high-pressure polyethylene; the feasibility of creating highly effective technologies for storing fresh fruits in a controlled atmosphere, in bioactive bactericidal packaging and by creating a microfilm on the surface of the fruits is confirmed. The prospects of using a progressive method of storing fruits in a modified gas atmosphere by creating an isolated "closed circuit" in a separate refrigeration chamber without the use of expensive equipment (in a normal and subnormal gas environment) have been proven. New technologies for storing apple fruits susceptible to infectious and physiological diseases have been developed based on improved methods of storage with minimal losses. A method of additional processing of fruits before placing them in storage with biologically active preparations that reduce the development of microbial lesions has been applied.

**Keywords:** apples, storage, modified gas environment, closed circuit, surface treatment, bioactive coatings, bactericidal packaging.

#### References

1. Pavlath A.E., Orts W. Edible films and coatings: why, what, and how? // *Edible Films and Coatings for Food Applications* / Ed. by M.E. Embuscado, K.C. Huber. – New York: Springer, 2009. – Ch. 1. – P. 1–23.
2. Khasanova G.B. Bio-razlagaemye polimery – put' k ustoychivomu razvitiyu prirody i obshchestva [Biodegradable polymers – a way to sustainable development of nature and society] // *Bulletin of Kazan Technological University*. – 2014. – Vol. 17. – No. 18. – P. 323–325. [in Russian].
3. Suput D. Edible films and coatings – sources, properties and application // *Food and Feed Research*. – 2015. – Vol. 42, No. 1. – P. 11–22.
4. Morris C., Brody A.L., Wicker L. Non-Thermal Food Processing/Preservation Technologies: A Review with Packaging Implications // *Packaging Technology and Science*. – 2007. – Vol. 20, No. 4. – P. 275–286.
5. Ortiz C.M., de Moraes J.O., Vicente A.R., Laurindo J.B., Mauri A.N. Scale-up of the production of soy (*Glycine max* L.) protein films using tape casting: Formulation of film-forming suspension and drying conditions // *Food Hydrocolloids*. – 2017. – Vol. 66. – P. 110–117.
6. Tuzhikov O.I., Tuzhnikov O.O. Zelenye polimery [Green polymers]. – Volgograd, 2016. – 80 p. [in Russian].
7. Baldwin E., Hagenmaier R., Bie J. Edible Coatings and Films to Improve Food Quality. – Boca Raton: CRS Press, 2011. – 460 p.
8. Arvanitoyannis I.S., Stratakos A.C. Application of modified atmosphere packaging and active/smart technologies to red meat and poultry: a review // *Food and Bioprocess Technology*. – 2012. – Vol. 5. – P. 1423–1446.
9. Duen J., Zhao Y. Edible coatings and films and their application on frozen foods // *Hand book of Frozen Food Processing and Packaging* / Ed. by De-Wen Sun. – Boca Raton: CRS Press, 2011. – P. 875–892.
10. Tertyshnaya Yu.V., Shil'bryaeva L.S. Bio-razlagaemye polimery: perspektivy ikh primeneniya v promyshlennosti Rossii [Biodegradable polymers: prospects of their application in Russian industry] // *Ecology and Industry of Russia*. – 2015. – Vol. 19. – No. 8. – P. 20–25. [in Russian].

11. Fryer P.J., Versteeg C. Processing technology innovation in the food industry // *Innovation: Management, Policy & Practice*. – 2008. – Vol. 10, No. 1. – P. 74-90.
12. Kontominas M. *Bioactive Food Packaging*. – Lancaster: DEStech Publications, 2015. – P. 381-385.
13. José M.L., Maria G. Shelf life of fresh foal meat under MAP, over wrap and vacuum packaging conditions // *Meat Science*. – 2012. – Vol. 92. – P. 610-618.
14. Khokonova M.B. Sposoby sozdaniya i podderzhaniya v kamerakh khranilishch gazovoy sredy zadannogo sostava pri ispol'zovanii gazoobraznogo azota [Methods of creating and maintaining a storage chamber gas atmosphere of a given composition using gaseous nitrogen] // *Proceedings of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. – 2021. – No. 2 (32). – P. 74-77. [in Russian].
15. Zherukov T.B., Kishev A.Yu. Prodolzhitel'nost' i effektivnost' khraneniya plodov grushi v zavisimosti ot primeneniya razlichnykh rezhimov MGS i srokov syema plodov [Duration and efficiency of pear storage depending on various controlled atmosphere regimes and harvest time] // *Reputatsiology*. – 2016. – No. 3 (41). – P. 54-57. [in Russian].
16. Nikitin A.L., Makarkina M.A. *Khranenie yablok: proshloe, nastoyashchee, budushchee* [Apple storage: past, present, future]. – Orel: All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, 2020. [in Russian].
17. Khubaeva E.R., Tokhtieva L.Kh., Tsugkieva V.B. Sovershenstvovanie sposobov khraneniya plodov yabloni [Improvement of methods for apple storage] // In: *Achievements of Science for Agriculture. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (correspondence)*. – 2017. – P. 215-218. [in Russian].
18. Gurin A.V. Tovarnye pokazateli plodov yabloni pri khranении v usloviyakh promyshlennogo kholodil'nika s RGS [Market indicators of apple fruits during storage in industrial refrigerators with controlled atmosphere] // In: *Actual Problems of Horticulture in Russia and Ways of their Solution. Proceedings of the All-Russian Scientific and Methodological Conference of Young Scientists*. – 2007. – P. 325-329. [in Russian].

МРНТИ 65.59.91

М.Х. Байгельдиева<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
Б.И. Токтосунов<sup>2</sup>, Х.А. Аубакиров<sup>3</sup>, Г.Е. Аубакирова<sup>4</sup>



<sup>1</sup>Докторант, <sup>2</sup>Д-р с.-х. наук, профессор, <sup>3</sup>Канд. с.-х. наук, ассоц. профессор,  
<sup>4</sup>Ст. преподаватель

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9607-9627> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-2835-0438>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-2670-4834> <sup>4</sup><https://orcid.org/0009-0006-3072-7245>



<sup>1,3</sup>Таразский университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

<sup>2</sup>Национальная академия наук Кыргызской Республики,

г. Бишкек, Кыргызстан

<sup>4</sup>Костанайский региональный университет им. А. Байтурсынова,

г. Костанай, Казахстан



<sup>1</sup>[meruert860407@gmail.com](mailto:meruert860407@gmail.com)

<https://doi.org/10.55956/SDBN6200>

## ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ УБОЙНЫХ ЖИВОТНЫХ ДЛЯ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ

**Аннотация.** В связи с ростом численности населения необходимо повышать продуктивность кормов для обеспечения продовольственной безопасности. В данной работе рассматриваются инновационные технологии переработки отходов скотобоен как одно из решений этой задачи. Показано, что использование отходов позволяет разработать эффективную технологию получения новой кормовой добавки, а также способствует снижению экологической нагрузки. Предполагается, что применение разработанного питательного комбикорма обеспечит получение высококачественного куриного мяса.

**Ключевые слова:** кормовая добавка, белковая добавка, коагуляция, технология, кормление бройлеров, яичная скорлупа, контрольная группа.



Байгельдиева, М.Х. Инновационная технология переработки отходов убойных животных для кормовой добавки [Текст] / М.Х. Байгельдиева, Б.И. Токтосунов, Х.А. Аубакиров, Г.Е. Аубакирова // *Механика и технологии / Научный журнал*. – 2025. – №3(89). – С.100-106. <https://doi.org/10.55956/SDBN6200>

**Введение.** Для обеспечения продовольственной безопасности в мире, необходимо повысить производительность продуктов питания, в связи с увеличением числа населения. Особенным спросом населения является мясо, которое является основным белкосодержащим продуктом сельского хозяйства. Проблема питания связана с нехваткой полноценного белка в рационе населения. Для решения этой проблемы было выбрано мясо птиц мясных пород, т.е. бройлеров. В среднем в 100 гр. куриного мяса содержится 20 гр. белка.

При выращивании птиц на мясо, корм должен содержать много белков и минеральных веществ. Чтобы добиться высоких показателей эффективного роста и быстрого набора живой массы, птицам необходимо сырой протеин, лизин, метионин и цистин. Куры нуждаются в ежедневном потреблении микро и макро-элементов. Минералы нужны для всех метаболических

функций организма и иммунитета. В рецептуру корма добавляют премиксы, чтобы нормализовать микроэлементы. Кальций – для роста, развития скелета, здоровые ноги, для нервной и иммунной системы, а недостаток приводит к ломкости косточек, что особенно недопустимо для бройлерных пород. Фосфор – отвечает за биосинтез белков и улучшает обменные процессы, а недостаток приводит к рахиту и ухудшению аппетита. Магний, хлор, натрий, калий – для многих обменных функций. В процессе пищеварения протеины превращаются в аминокислоты. Они усваиваются и используются при синтезе белков организма. Бройлеры чувствительны к уровню аминокислот. Если увеличить аминокислоты повышается мясная продуктивность [1].

Наиболее эффективный метод кормления – это кормление готовыми сухими сбалансированными гранулированными комбикормами. Сбалансированное питание – это белки, углеводы, жиры, минеральные вещества, витамины, вода. Сырье необходимое для быстрого набора веса: пшеница, кукуруза, соевый шрот, подсолнечный шрот, мясокостная мука, растительные не рафинированные масла, известняковая мука, монокальцифосфат или трикальцифосфат, питьевая сода, премиксы.

Для высокой продуктивности нужно создать оптимальные условия для кур. Именно для бройлеров необходимая температура 17-18°C. Если температура повысится, то они перегреваются и начинают падать, а если температура понижается они переохлаждаются. Главным критерием оптимальных условий это рацион кормления. Зерновые культуры составляют основу рациона 50-60% от всего объема пищи. При откорме бройлеров на мясо она должна иметь свободный доступ к корму и воде. Чтобы получить качественное мясо в конечном этапе нужно исключить фармацевтических препаратов. А для этого нужно заменить ценным белкосодержащим натуральным сырьем. Кровь убойных животных уникальный источник высококачественного белка и органического железа. Она состоит 16-19% из белков и 79-82% воды. Перевариваемость крови организмом составляет 94-96% [2,3].

Внедрение инновационных технологии переработки вторичных продуктов убоя животных решило бы проблемы рациона питания птиц связанные с нехваткой полноценного белка и кальция, который можно получить от отходов. До сих пор, увеличение степени использования на кормовые цели малоценных продуктов отходов убоя животных остается нерешенным вопросом. Постановка производства высокоценных кормопродуктов позволит развить широкомасштабную индустрию и рынок отечественных не дорогих кормов для птиц с учетом физиологических потребностей.

**Условия и методы исследования.** Кровь убойных животных – это ценное белкосодержащее сырье. Кровь состоит из плазмы и форменных элементов (эритроцитов 99%, лейкоцитов 1% и тромбоцитов 0,1%). Содержащееся в плазме крови фибриноген (полноценный белок) при свертывании крови превращается в нерастворимый белок фибрин. Кровь через 2-8 мин после сбора свертывается превращаясь в сгусток. Чтобы получить кровь в жидком виде предотвращая ее свертывание применяют стабилизацию или дефибрирование. В форменных элементах содержание белка 28-38%, а гемоглобин – основа составляющей белка. В плазма светло-желтая, в ней содержится 6-8% белка, это альбумины, глобулины и фибриноген. Выход крови при забое животных, составляет 8-10% от живой массы [4-8].

Скорлупа в свою очередь богата – кальцием, магнием, фосфором, кремнием, натрием, калием, железом, серой и алюминием.

EVA – это сокращение от этиленвинилацета, является сополимером этилена и винилацета. Этилен – газ, получаемый из природного газа. Винилацетат – смола получаемая из углеводов. Материал – абсолютно не токсичен, не вызывает аллергических реакции, при нагреве не излучает вредных запахов и безвреден, даже для детей. Свойства EVA материала – гибкость, эластичность, легкость, устойчивость к температуре (и высокой, и низкой), водонепроницаемость, биологическая инертность (не подвергается гниению, плесени, и развитию бактерии), безопасность (не токсичный и не вызывает аллергии), хорошая амортизация, устойчивость к химическим веществам. Область применения EVA материала: обувная промышленность, производство ковриков, производство игрушек, производство спортивного инвентаря, упаковочные материалы и т.д.

Во многих скотобойнях кровь не перерабатывается. Тысяча тонны белков становятся отходами и это разрушительное последствие для окружающей среды. Кровь образует загрязняющий остаточный поток. Если даже перерабатывается кровь то не отдельно, а вместе с другими побочными продуктами. Но новым вектором развития переработки отходов убойных пунктов считается переработка отдельно крови в сухой порошок, в кровяную муку.

Стандартная технология переработки крови животного: накопление сырья, обработка в коагуляторе, обезвоживание – снижение влаги, сушка, охлаждение, просеивание муки и упаковка [9,10].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Коагуляция – крови происходит термическим путем, нагревание ее выше температуры 80°C свертывания белковых веществ. При этой температуре погибает значительное число микроорганизмов. В результате белки выпадают осаждаясь и содержащую часть крови – воду можно слить механическим путем.

По предлагаемой в одной из технологий, кровь лошади обрабатывается 1 час при температуре 80°C, после осаждения белков, сливается водная часть крови и добавляется измельченная скорлупа. Хорошо перемешанная до однородной массы смесь выкладывается на EVA материал и сушится в открытом воздухе 3 дня. Во второй и третьей технологиях плазма не отделяема, потому, что после стабилизации крови пищевой солью, соленая кровь не разделяема на составы крови (на форменные элементы и на кровяную плазму). По предлагаемым двум технологиям стабилизированная кровь лошади обрабатывается 3 часа при температуре 80°C, после получается масса похожая на холодец. Эта масса перемешивается до однородной консистенции и одна часть так же, как в первой технологии сушится на EVA материале в открытом воздухе. А вторая часть, после смешивания со скорлупой дальше продолжается обрабатываться в сушильном шкафу 4 часа.

Разработана инновационная технология производства белкового кормового продукта на основе переработки крови, отходов убойных пунктов и скорлупы яиц, отходов кондитерских. Взято 3 технологии кормовой добавки из не традиционного сырья животного происхождения. По 3 образцам будут составлены 3 рецептуры, по результатам анализов определится оптимальное количество или объем кормовой добавки. Все 3 образца отправлены на анализ в лабораторию завода «Кормовик». Результаты анализов приведены на рисунке 1.

Место проведения испытаний: Лаборатория ТОО «Кормовик»  
Дата поступления образцов в лабораторию: 27.05.2025 г.  
Дата проведения испытаний: 27 - 28.05.2025 г.  
Вид испытаний: контрольный  
Количество образцов: 3 шт.  
Условия проведения испытаний: Температура 22 °С, влажность 65 %

№	Наименование показателей	Образец №1	Образец №2	Образец №3
1	Массовая доля влаги, %	4,42	4,47	4,43
2	Массовая доля сырого протеина, %	55,32	41,98	40,39
3	Массовая доля сырой клетчатки, %	2,27	2,48	5,58
4	Массовая доля сырого жира, %	0,15	0,30	0,15
5	Массовая доля кальция, %	15,12	13,58	15,00
6	Массовая доля фосфора, %	0,15	0,10	0,11
7	Массовая доля хлорида натрия, %	-	2,46	2,79

Примечание: « - » определение массовой доли хлорида натрия в образце №1 не представляется возможным.

Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям.  
Частичная перепечатка протокола без разрешения ТОО «Кормовик» запрещена.

Зав. лабораторией-менеджер по качеству  Туртазина К.М.

Рис. 1. Результаты анализов лаборатории «Кормовик» всех 3 образцов

Образец №1 (Кровь + 20% скорлупы). Обработка в коагуляторе при 80°С в течение 1 часа. После этого плазма крови была отделена, добавлено 20% измельченной скорлупы яиц. Смесь сушили в открытом воздухе на поверхности из EVA-материала в течение 3 суток.

Образец №2 (соленая Кровь + 10% скорлупы). Обработка в коагуляторе при 80°С в течение 3 часов без отделения плазмы. После этого смесь перемешивали со скорлупой и сушили в открытом воздухе на поверхности из EVA-материала в течение 3 суток.

Образец №3 (соленая Кровь + 10% скорлупы). Обработка в коагуляторе при 80°С в течение 3 часов без отделения плазмы. После этого смесь перемешивали со скорлупой и сушили в сушильном шкафу при 80°С в течение 4 часов.

Для расчетов рациона нужны показатели питательности сырья: пшеницы, кукурузы, подсолнечного шрота, соевого шрота, соя экструдированная, масло подсолнечное и соли. Для расчета рациона бройлеров нужны образцы сырья, которые будут использованы в кормлении кур.

На рисунке 2 показаны результаты анализов злаков и шротов лаборатории «Кормовик».

Место проведения испытаний: Лаборатория ТОО «Кормовик»  
 Дата поступления образцов в лабораторию: 27.05.2025 г.  
 Дата проведения испытаний: 27 - 28.05.2025 г.  
 Вид испытаний: контрольный  
 Количество образцов: 5 шт.  
 Условия проведения испытаний: Температура 22 °С, влажность 65 %

№	Наименование показателей	Пшеница дробленая	Кукуруза дробленая	Шрот соевый	Шрот подсолнечный	Масло растительное
1	Массовая доля влаги, %	10,40	14,95	8,33	6,72	-
2	Массовая доля сырого протеина, %	12,96	7,09	43,99	5,62	-
3	Массовая доля сырой клетчатки, %	-	-	5,11	45,04	-
4	Активность урезы, ед. рН	-	-	0,03	-	-
5	Массовая доля кислотного числа, мгКОН	-	-	-	-	1,82
6	Массовая доля перекисного числа, ммоль/кг ½ O	-	-	-	-	10,48
7	Афлатоксин, мкг/кг	8,4	11,8	-	-	-
8	Охратоксин, мкг/кг	147,6	<3	-	-	-
9	ДОН, мг/кг	<0,2	<0,2	-	-	-
10	Зеараленон, мкг/кг	45	<40	-	-	-
11	Фумонизин, мг/кг	-	2,49	-	-	-

Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям.  
 Частичная перепечатка протокола без разрешения ТОО «Кормовик» запрещена.



Зав. лабораторией-менеджер по качеству:  Иргалина К.М.

Рис. 2. Результаты анализов злаков и шротов лаборатории «Кормовик»

**Заключение.** На основе показателей трех образцов и исходного сырья будут разработаны рецептуры кормов. При выборе кросса цыплят-бройлеров (КОБ-500) рецептуры будут составлены в соответствии с нормативами данного кросса, которые определяются технологами. Для расчета будет использовано среднее значение питательности сырья, после чего определено количество каждого вида сырья, необходимого для приготовления кормов.

Для эксперимента планируется использование 100 однодневных цыплят-бройлеров, из которых по 25 голов будут отнесены к каждой опытной группе и 25 голов – к контрольной. В опытные группы образцы будут вводиться в составе комбикорма в количестве 3%, учитывая их высокое содержание железа. Контрольная группа будет получать стандартный комбикорм, применяемый на птицефабрике. Использование того же набора сырья, что и в промышленном комбикорме, позволит объективно оценить эффективность добавления образцов при выращивании и откорме бройлеров.

#### Список литературы

1. Байгелдиева, М.Х. Құстарға арналған азық қоспасын жануарлардың қалдық өнімдері мен минералды заттармен толықтандырудың маңызы [Текст] / М.Х. Байгелдиева, Х.А. Аубакиров, А.А. Тлепов // Механика және технологиялар. – 2024. – № 3.
2. Антипова, Л.В. Кровь убойных животных и современные перспективы ее применения [Текст] / Л.В. Антипова, А.А. Самохвалов // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6.

3. Рядинская, А.А. Технология производства белкового концентрата из нетрадиционного сырья животного происхождения в кормлении бройлеров [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А.А. Рядинская. – 2003.
4. Козеева, О.В. Разработка технологии вареной колбасы с использованием структурированной композиции на основе плазмы крови убойных животных [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / О.В. Козеева. – 2002.
5. Уракунова, К. Особенности гематологии и биохимии крови [Текст] / К. Уракунова, Б.И. Токтосунов, Ю.Г. Быковченко // Наука, новые технологии и инновационные технологии Кыргызстана. – 2017. – № 4.
6. Быковченко, Ю.Г. Вариации гематологических показателей крови у лошадей [Текст] / Ю.Г. Быковченко, Р.С. Салыков, Б.И. Токтосунов, А. Осоева, А.Х. Абдурасулов // [?].
7. Аубакиров, Х.А. Наладка переработки вторичных продуктов лошадей – путь к безотходной технологии продуктов коневодства [Текст] / Х.А. Аубакиров // Вестник Киргизского аграрного университета. – Бишкек, 2011. – № 1 (19). – С. 92-94.
8. Аубакиров Х.А. Эффективные методы получения и переработки вторичных продуктов животноводства для производства кормовых добавок животных, птиц и рыб [Текст] / Аубакиров Х.А. // Ғылымдағы инновациялық жетістіктер арқылы студент жастардың қоғамдағы орнын қалыптастыру: материалы XIX науч. конф. – Тараз: ТИГУ, 2010. – С. 76-77.
9. Sultana Khudsia K., Radhakrishna K., Bawa A. S. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries // Journal of Food Science and Technology. – 2012. – Vol. 49 (3). – P. 278-293.
10. Аубакиров Х.А. Значение переработки отходов мясной промышленности [Текст] / Х.А. Аубакиров, М.Х. Байгельдиева, М.Д. Кенжеходжаев, М.Ш. Гаражаев // Международная научно-практическая конференция. – [?]. – С. 654-659.

Материал поступил в редакцию 12.08.25, принят 19.09.25.

**М.Х. Байгельдиева<sup>1</sup>, Б.И. Токтосунов<sup>2</sup>, Х.А. Аубакиров<sup>1</sup>, Г.Е. Аубакирова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Қырғыз Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, Бішкек қ., Қырғызстан

<sup>3</sup>Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті,  
Қостанай қ., Қазақстан

#### **ЖЕМДІК ҚОСПА АЛУ ҮШІН СОЙЫЛҒАН МАЛ ҚАЛДЫҚТАРЫН ҚАЙТА ӨНДЕУДІҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫ**

**Аңдатпа.** Халық санының өсуіне байланысты азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін азық түлік өнімділігін арттыру қажет. Берілген зерттеу жұмысында осы мәселені шешудің бір жолы ретінде, мол сою бекеттерінің қалдық өнімдерін қайта өңдеудің инновациялық технологиялары ұсынылды. Қалдықтарды қайта өңдеу арқылы тиімді жаңа жемдік қоспа әзірлеу технологиясы мен экологиялық мәселелер шешілетіні көрсетілген. Бұл жұмыс тиімді, құнарлы құрама жем әзірлеу арқылы сапалы тауық етін алуға болатындығын көздейді.

**Тірек сөздер:** жемдік қоспа, ақуыздық қоспа, коагуляция, технология, бройлерді азықтандыру, жұмыртқаның ұнтақталған қабығы, бақылау тобы.

**М.Н. Baygeldiyeva<sup>1</sup>, B.I. Toktosunov<sup>2</sup>, H.A. Aubakirov<sup>1</sup>, G.E. Aubakirova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

<sup>2</sup>National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan

<sup>3</sup>Kostanay Regional University named after Akhmet Baitursynov, Kostanay, Kazakhstan

---

### INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR RECYCLING SLAUGHTERED ANIMAL WASTE FOR FEED ADDITIVES

**Abstract.** Due to population growth, it is necessary to increase feed productivity to ensure food security. This research paper proposes innovative technologies for slaughterhouse waste as a solution to this problem. It is shown that waste processing allows developing an effective technology for developing a new feed additive and solving environmental problems. This paper suggests the possibility of obtaining high-quality chicken meat by developing an effective, nutritious compound feed.

**Keywords:** feed additive, protein additive, coagulation, technology, broiler feeding, eggshell, control group.

#### References

1. Baigeldieva M.Kh., Aubakirov Kh.A., Tlepov A.A. Qustarǵa arnalǵan azyq qospasyn janıarlarǵyń qaldyq ónimderi men mineraldy zatarmen tolyqtandyrdyń mańyzy [The importance of supplementing poultry feed additives with animal by-products and minerals] // Mechanics and Technologies. – 2024. – No. 3. [in Kazakh].
2. Antipova L.V., Samokhvalov A.A. Krov' uboinykh zhivotnykh i sovremennye perspektivy ee primeneniya [Blood of slaughtered animals and modern prospects of its use] // Advances in Current Natural Sciences. – 2012. – No. 6. [in Russian].
3. Ryadinskaya, A.A. Tekhnologiya proizvodstva belkovogo kontsentrata iz netraditsionnogo syr'ya zhivotnogo proiskhozhdeniya v kormlenii broilerov [Technology of producing protein concentrate from unconventional animal raw materials in broiler feeding]: PhD thesis. – 2003. [in Russian].
4. Kozeeva, O.V. Razrabotka tekhnologii varenoi kolbasy s ispol'zovaniem strukturirovannoi kompozitsii na osnove plazmy krovi uboinykh zhivotnykh [Development of boiled sausage technology using structured composition based on slaughter animal blood plasma]: PhD thesis. – 2002. [in Russian].
5. Urakunova K., Toktosunov B.I., Bykovchenko Yu.G. Osobennosti gematologii i biokhimii krovi [Features of hematology and blood biochemistry] // Science, New Technologies and Innovative Technologies of Kyrgyzstan. – 2017. – No. 4. [in Russian].
6. Bykovchenko Yu.G., Salykov R.S., Toktosunov B.I., Osoeva A., Abdurasulov A.Kh. Variatsii gematologicheskikh pokazatelei krovi u loshadei [Variations of hematological parameters of horse blood] // [?]. [in Russian].
7. Aubakirov Kh.A. Naladka pererabotki vtorichnykh produktov loshadei – put' k bezotkhodnoi tekhnologii produktov konevodstva [Adjustment of horse by-product processing as a way to zero-waste technology in horse breeding products] // Bulletin of Kyrgyz Agrarian University. – Bishkek, 2011. – No. 1 (19). – P. 92-94. [in Russian].
8. Aubakirov, Kh.A. Effektivnye metody polucheniya i pererabotki vtorichnykh produktov zhivotnovodstva dlya proizvodstva kormovykh dobavok zhivotnykh, ptits i ryb [Effective methods of obtaining and processing livestock by-products for the production of feed additives for animals, poultry and fish] // Gylymdagy innovatsiyalyq jetistikter arqyly student jastardyn qogamdagy ornyn qalyptastyru [Formation of students' role in society through innovative achievements in science]: proc. of the 19th conf. – Taraz: TIGU, 2010. – P. 76-77. [in Russian].
9. Sultana Khudsia K., Radhakrishna K., Bawa A.S. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries // Journal of Food Science and Technology. – 2012. – Vol. 49 (3). – P. 278-293.
10. Aubakirov Kh.A., Baigeldieva M.Kh., Kenzhekhodzhaev M.D., Garazhaev M.Sh. Znachenie pererabotki otkhodov myasnoi promyshlennosti [The importance of processing meat industry waste] // International Scientific and Practical Conference. – [?]. – P. 654-659. [in Russian].

FTAMP 65.33.03

А.С. Умирбекова<sup>1</sup> – негізгі автор, ©  
А.Б. Мынбаева<sup>2</sup>, И.Н. Сметанская<sup>3</sup>,  
А.С. Боранкулова<sup>4</sup>, А.Б. Саршаева<sup>5</sup>, А.Б. Нұрмахан<sup>6</sup>



<sup>1,5</sup>Магистр, аға оқытушы, <sup>2</sup>Техн. ғылым. канд., қауымдас. профессор,  
<sup>3</sup>Инженерия ғылым. д-ры, профессор, <sup>4</sup>PhD, қауымдас. профессор м.а.,  
<sup>6</sup>Студент

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-8175-1030> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3799-2686>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-3383-4848> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-1229-753X>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0003-2938-8267>



<sup>1,2,4,5,6</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан  
<sup>3</sup>Вайнштефан-Трисдорф қолданбалы ғылымдар университеті,  
Вайденбах қ., Германия

@

<sup>1</sup>[umirbekovaasel50@gmail.com](mailto:umirbekovaasel50@gmail.com)

<https://doi.org/10.55956/GABL8998>

## НАН ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДА ӨНГЕН ЖАСЫМЫҚ ҰНЫН ҚОЛДАНУДЫ ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа.** М.Х. Дулати атындағы Тараз университетінің «Наноинженерлік зерттеу әдістері» инженерлік бейіндегі F33 мен «Тамақ өндірісі және биотехнология» кафедрасының зертханаларында өнген жасымық ұнын бидай ұнының бір бөлігімен алмастыру арқылы оның тағамдық құндылығын жоғарлату мүмкіндігін зерттеу бойынша ғылыми жұмыс жүргізілді. Зерттеу барысында өнген жасымық ұнының дайын өнімнің физика-химиялық қасиеттеріне, сондай-ақ дәмі, иісі мен кеуектілік құрылымы сияқты органолептикалық көрсеткіштеріне әсері қарастырылды. Жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде құрамына 15% өнген жасымық ұны қосылған домалақ наннан сыртқы түрі тартымды, органолептикалық көрсеткіштері жоғары, сондай-ақ бақылау нан үлгілерімен салыстырғанда биологиялық құндылығы мен функционалдық қасиеттерге ие екендігі анықталды.

**Тірек сөздер:** домалақ нан, жасымық дәні, өнген жасымық ұны, байытылған нан.



Умирбекова, А.С. Нан өндіру технологиясында өнген жасымық ұнын қолдануды зерттеу [Мәтін] / А.С. Умирбекова, А.Б. Мынбаева, И.Н. Сметанская, А.С. Боранкулова, А.Б. Саршаева, А.Б. Нұрмахан // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.107-115. <https://doi.org/10.55956/GABL8998>

**Кіріспе.** Рационалды тағам өнімдері – адам денсаулығы мен өмір сапасының негізгі кепілі. Қазіргі таңда халықтың тамақтануында ақуыздар, дәрумендер мен минералды заттар жеткілікті мөлшерде тұтынылмайды. Бұл өз кезегінде тамақтану құрылымына елеулі өзгерістер енгізіп, ағзада маңызды заттардың тапшылығын туындатады. Осындай тапшылықтардың орнын толтырудың тиімді жолы – биологиялық құндылығы жоғары, дәрумендер мен минералдарға бай тағам өнімдерін өндіру қазіргі заман талабы. Бұл жағдай тамақ өнеркәсібі алдында тағамдық құндылығы жоғары, диеталық әрі функционалды өнімдер өндіру міндетін қояды. Солардың ішінде нан

өнімдерін ақуызбен байыту – халықтың сұранысын қанағаттандыратын және тағамтану саласындағы заманауи бағыттардың дамуына серпін беретін өзекті бағыттардың бірі болып табылады [1,2].

Нан – адамзат үшін ең маңызды тағамдырдың бірі. Ол ағзаның энергия мен негізгі тағамдық заттарға деген қажеттілігінің 60%-ын қамтамасыз етеді. Нан және нан тоқаш өнімдері әрдайым сұраныста болатын, жаппай тұтынылатын негізгі өнім болып қала береді.

Қазіргі таңда диетология саласының мамандары өнген дәннен дайындалған нан өнімдерін тұтынуды ұсынады. Өнген дәндердің құрамында адам ағзасына пайдалы, ауруларға төзімділікті арттыратын, көптеген физиологиялық үдерістерді реттеуге ықпал ететін және ұзақ уақыт белсенді өмір сүруді қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін функционалды компоненттер кездеседі.

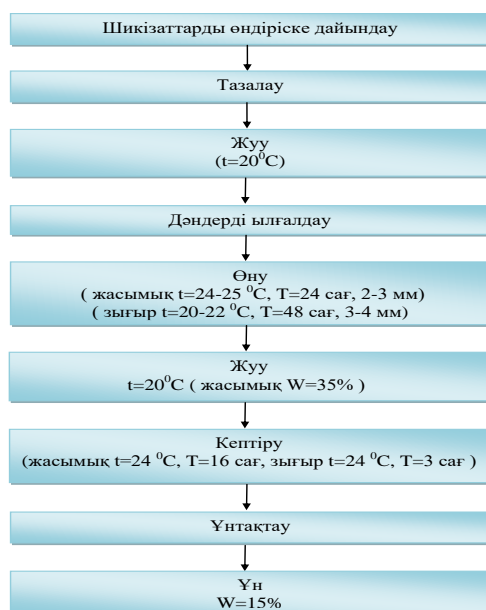
Өнген дәндер бактерицидтік қасиетке ие және жоғары биологиялық белсенділігімен ерекшеленеді. Олар ас қорту үдерісі мен ішек қызметін жақсартуға, жүйке жүйесін тұрақтандыруға және де зат алмасу үдерісін оңтайландыруға ықпал етеді. Өнген дәндердің құрамында ақуыздар мен адам ағзасына қажетті дәрумендер молынан кездеседі. Жалпы алғанда өнген дәндердің адам денсаулығына тигізетін пайдасы өте зор, біріншіден олар артық салмақты азайтуға көмектеседі, себебі мұндай нан өнімдерінің калориялығы төмен болады, бұл өз кезегінде салауатты диетаның маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Екіншіден, өнген дәндерді тұрақты тұтыну қан қысымын реттеуге, инфарктің алдын алуға және қандағы холестерин деңгейін төмендетуге мүмкіндік береді [3,4].

Тамақ өнімдеріндегі ақуыздың жетіспеушілігін шешуде құрамында ақуызы жоғары дақылдардың маңызы зор. Бұндай дақылдарға жасымық, бұршақ және басқа да бұршақ тұқымдастары жатады. Олардың тағамдық құндылығы мен химиялық құрамы жануар тектес ақуыз көздеріне жақын келеді. Сонымен қатар, бұршақ тұқымдас дақылдардың ақуыздары алмастырылмайтын аминқышқылдарына өте бай.

Ақуыздық құрамы бойынша жасымық дәндері соядан кейінгі екінші орынға ие, сондықтан да оны ақуыздың шикізат көзі ретінде нан өндірісінде қолдануға болады. Жасымық дәндеріндегі ақуыз мөлшері 26,9-32,3% құрайды және ол басқа дақылдарға қарағанда көп. Жасымықтың құрамында бос аминқышқылдарының атап айтқанда, 100 г жасымық дәндерінде глутамин мен аспаргин қышқылдары және тирозиннің 18,40-28,30 мг, треониннің 16,90-20,50 мг, метиониннің 15,40-26,90 мг мөлшері бар [5,6].

Зерттеу жұмысының мақсаты – өнген жасымық дәндерін қолдану арқылы тағамдық және биологиялық құндылығы жоғары нан өнімдерін алуды ғылыми тұрғыдан негіздеу және олардың технологиялық ерекшеліктерін анықтау.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Зерттеу нысаны ретінде өнген жасымық дәндерін негізге алынды. Зерттеу жұмысы А.С. Ахметов атындағы «Наноинженерлік зерттеу әдістері» ғылыми-зерттеу зертханасының және «Тамақ өндірісі және биотехнология» кафедрасының зертханаларында жүргізілді. Өнген жасымық дәндерін алу 1-суретте көрсетілген құрылымдық нобайға сәйкес дайындалды.



Сурет 1. Жасымық дәндерін өндірудің құрылымдық нобайы

Жүргізілген зерттеу жұмыстары аясында өнген жасымық дәндерін пайдалана отырып нан өнімдерін дайындау технологиясы қарастырылды. Алдымен шикізаттық материалдар дайындалып, бөгде қоспалардан тазарту мақсатында алғашқы өңдеу сатылары жүзеге асырылды. Тазартылған жасымық дәндерін 20°C температурадағы ағынды суда елеуіш арқылы жуылды. Ары қарай дәндерді ылғалдандыру үдерісі жүргізілді. Өндіру барысында алдын ала ылғалдандырылған дәкенің бетіне дәндер біркелкі орналастырылып, өнуге қажетті жағдайлар жасалды.

Жүргізілген зерттеу нәтижелері бойынша жасымық дәндері бөлме температурасында 24 сағат аралығында, орташа 2-3 мм деңгейіне дейін өніп шықты. Ғылыми деректерге сәйкес, дән өскінінің ұзындығы 1,5 мм аралығында болған жағдайда технологиялық өңдеуге жеткілікті болып саналады. Себебі дәннің ары қарай өнуі ферменттік белсенділіктің шамадан тыс артуына әкеліп, дайын өнімнің сапалық көрсеткіштеріне кері әсер етеді. 2-суретте ылғалдандырылған және өнген жасымық дәндері көрсетілген.



Сурет 2. Ылғалдандырылған және өнген жасымық дәндері

Дәндер жеткілікті мөлшерде өнгеннен кейін ағынды сумен жуылып, өну үдерісі кезінде түсуі ықтимал микроорганизмдерден тазартылды. Өнген

жасымық дәндерін ұнтақтау мақсатында, артық ылғалдыдықты жою үшін кептіру шкафында 24°C температурада 16 сағат аралығында қажетті деңгейде кебуі қамтамасыз етілді. Өнген дән кептірілгеннен кейін MILL 120 зертханалық балғалы диірменінде ұнтақталынды. Ұнтақталынған өнген жасымық дәнінен алынған ұнның ылғалдылығы  $W = 15\%$  болды.

Өну үдерісі барысында дәннің химиялық құрамында айтарлықтай биохимиялық өзгерістер жүреді. Яғни, дәндегі қант мөлшері жоғарылап, амилolitikалық ферменттердің белсенділігі күшейеді және крахмалдың ферментативтік ыдырағыштығы жоғарылайды, соның нәтижесінде крахмалдың жалпы өлшері азаяды. Сонымен қатар өну кезінде липазаның белсенділігі артып, май қышқылдарының түзілуі қарқындайды, алайда тұқымдағы жалпы май мөлшері төмендейді. Сондай –ақ амилolitikалық, протеolitikалық, деградациялық және гидrolitikалық ферменттердің белсенділігі артады. Осы ферменттік белсенділіктің нәтижесінде дәнде көмірсулардың, ақуыздардың және басқа да суда еритін заттардың мөлшері едәуір көбейеді [7].

**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** Зерттеу жұмысының мақсатына сай өнген жасымық ұнын (ӨЖҰ) қолданып, тағамдық және биологиялық құндылығы жоғары домалақ нан өнімін өндіру 1-кестеде көрсетілген рецептураға сай жүзеге асырылды.

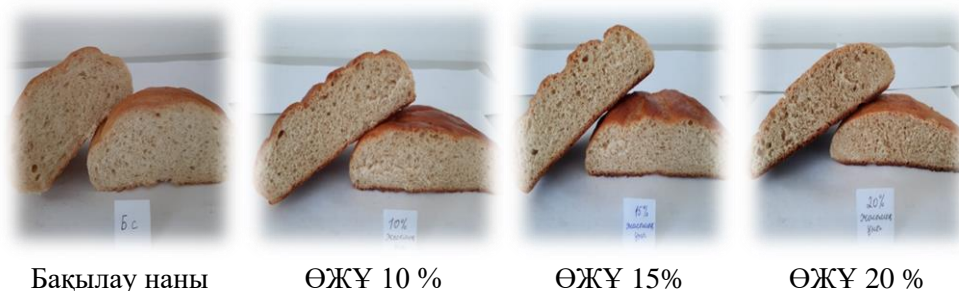
#### Кесте 1

##### Өнген жасымық ұнынан дайындалған домалақ нан рецептурасы

Шикізаттар	Бақылау наны	10% ӨЖҰ	15% ӨЖҰ	20% ӨЖҰ
I сұрыпты бидай ұны, г	500	450	425	400
Өнген жасымық ұны	-	50	75	100
Престелген ашытқы, г	12,5	12,5	12,5	12,5
Ас тұзы, г	7,5	7,5	7,5	7,5
Зімбір, г	-	0,5	0,5	0,5
Қамыр илеуге қажетті су	Есептеу бойынша			
Технологиялық параметрлер				
Қамырдың ашу ұзақтығы, мин	120	120	120	120
Қамырдың температурасы, °C	30	30	30	30

Өнген жасымық ұнын I сұрыпты бидай ұнынның 10, 15 және 20% пайыздарын алмастыра отырып, рецептурада көрсетілген шикізаттармен опарасыз әдіспен қамыр иленді. Қамыр илеу үдерісі қол еңбегімен 5-7 мин аралығында жүзеге асырылды. Қамырдың ашу температурасы 30°C, ал ашу ұзақтығы 120 мин құрады. Қамырды қайтару әрбір 55-60 мин сайын жүргізілді. Қамырдың ашу ұзақтығы аяқталған соң, қамыр бөлшектеніп, домалақ етіп пішінделіп, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы 75-78% құрайтын, температурасы 35-40°C болатын жетілдіру шкафына салынды. Жетілдіру ұзақтығы 25 мин. Жетілдіру үдерісінен кейін 220-240°C температурада қызып тұрған пешке пісіруге салынды. Пісу ұзақтығы 25 мин.

Суғын нан үлгілеріне 3 сағат уақыт өткеннен кейін органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштері бойынша талдаулар жүргізілді [8,9]. 3-суретте бақылау және әртүрлі пайыздағы өнген жасымық ұны қосылған домалақ нан үлгілері көрсетілген.



Сурет 3. Өнген жасымы ұны қосылған домалақ нан үлгілері

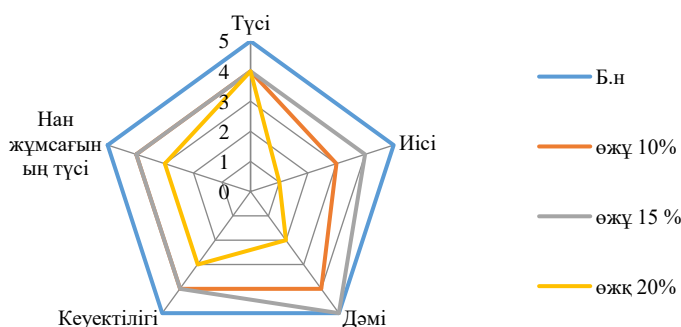
Нанның үлгілеріне талдаулар органолептикалық көрсеткіштерін түсі, иісі, дәмі, кеуектілігі және нан жұмсағының түсі бойынша бағаланды. Органолептикалық талдау жүргізу үшін нан үлгілерін екіге бөліп, сыртқы бетінің және нан жұмсағының түсі анықталынды. Сонымен қатар нанның кеуектілігіне баға берілді. Дәмі мен иісі сезім мүшелері арқылы анықталынып, бөгеде иістің болмауына ерекше назар аударылды. 2-кесте өнген жасымық ұны қосылған домалақ нан үлгілерінің органолептикалық көрсеткіштері көрсетілген.

Кесте 2

Өнген жасымық ұны қосылған домалақ нан үлгілерінің органолептикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Бақылау наны	10% ӨЖҰ	15% ӨЖҰ	20% ӨЖҰ
Түсі	Алтынды сары	Ашық қоңыр	Қызғылт	Ашық қызғылт
Дәмі	Өзіне тән дәмі бар, бөтен дәмсіз	Аздап жасымыққа тән дәмі бар	Жасымыққа тән дәмі бар	Жасымыққа тән қышқыл дәмді
Иісі	Өзіне тән хош иісті, бөтен иіссіз	Жасымыққа тән әлсіз иісі бар	Жасымыққа тән иісі бар, бөтен иіссіз	Жасымыққа тән айқын иісі бар
Кеуектілігі	Майда, қабығы жұқа және тегіс	Ірі, қабығы қалың, тегіс	Майда, жұқа қабықты, тегіс	Майда, қабығы жұқа, тегіс
Нан жұмсағының түсі	Ақ, иілімділігі жоғары	Ақшыл, иілімділігі жақсы	Сарғыш, иілімділігі жақсы	Сұр, иілімділігі нашар

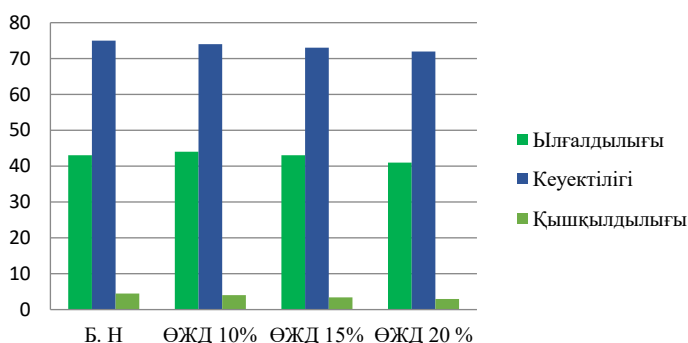
Өнген жасымық ұны қосылған домалақ нандардың сапасын бағалау 5 баллдық шкаламен бағаланды. Бағалау нәтижесі 4-суретте берілген.



Сурет 4. Өнген жасымық ұны қосылған домалақ нандардың баллдық шкаласы

Зерттеу нәтижелері бойынша 10% мөлшерде өнген жасымық ұны қосылған үлгінің түсі ашық қоңыр, өзіне тән дәмі мен иісі байқалды. Сонымен қатар нанның көтерілу күшіне белгілі бір әсер етті. Органолептикалық бағалау нәтижесінде түсі, дәмі, кеуектілігі 5 баллды, нан жұмсағы 4 баллмен бағаланды. Бұл үлгіні бақылау нанымен салыстырғанда айтарлықтай өзгерістер байқалмағаны мен көтерілу күші төмендегені анықталды. 15% мөлшерде өнген жасымық ұны қосылған нан үлгісінде айқын қызғылт түс, жасымыққа тән жағымды дәмі мен иісі анықталды. Шкала бойынша түсі, кеуектілігі және нан жұмсағы 4 баллмен, ал дәмі мен иісі 5 баллмен бағаланды. Бұл үлгі органолептикалық бағалау бойынша қолайлы көрсеткіштерге ие болды. Қамыр дайындамалары өзінің пішінін жетілдіру және пісіру кезінде жақсы сақтады. 20% өнген жасымық ұны қосылған нан үлгісінде түсі ашық қызғылт болып, дәмі мен иісінде жасымыққа тән айқын қышқыл дәм байқалды. Сонымен қатар қамыр дайындамасын жетілдіру мен пісіру барысында өнімнің пішіні сақталмай жайылып кеткені анықталды.

Өнген жасымық ұны қосылған нан үлгілерінің органолептикалық көрсеткіштері бағаланған соң, физика-химиялық қасиеттері бойынша талдау жүргізілді. Дайын нан өнімдерінің сапасын сипаттайтын негізгі параметрлер-ылғалдылығы, қышқылдылығы мен кеуектілігі анықталды. Бұл көрсеткіштер өнімді сақтау тұрақтылығын, құрылымдық-механикалық қасиеттерін және тұтынушылық сапасын бағалауда маңызды рөл атқарады. 5-суретте өнген жасымық ұны қосылған нан үлгілерінің физика-химиялық көрсеткіштеріне әсері көрсетілген.



Сурет 5. Өнген жасымық ұны қосылған нан үлгілерінің физика-химиялық көрсеткіштері

Өнген жасымық ұны қосылған нан үлгілеріне жүргізілген зерттеу нәтижелерін бақылау нан үлгісімен салыстырғанда 10% ӨЖҰ нан үлгісінің ылғалдылығы 4,2%-ға төмен, қышқылдылығы 1,5 ал кеуектілігі 3% кем болды. 15% ӨЖҰ қосылған нан үлгісінде ылғалдылығы 4,5 % кем, қышқылдылығы 1,7, кеуектілігі 2% кем болды. 20% ӨЖҰ қосылған нан үлгісінің ылғалдылығы 5,2%, кеуектілігі 3%, қышқылдылығы 1,9 кем болды.

**Қорытынды.** Зерттеу нәтижелері өнген жасымық ұнының домалақ нан сапасына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Органолептикалық және физика-химиялық талдауларға сәйкес, 10% мөлшерде ӨЖҰ қосылған нан үлгісінде айтарлықтай өзгерістер байқалмағанымен, көтерілу күші аздап төмендегені анықталды. 15% мөлшерінде ӨЖҰ қосылған нанның түсі, иісі, дәмі және кеуектілігі бойынша оң нәтижелер беріп, жоғары биологиялық

құндылық пен функционалдық қасиеттерге ие болды. Ал 20% мөлшерінде ӨЖҰ қосылған нанда сапасы төмендеп, қышқыл дәмінің айқындалуына және өнімнің пішінінің жоғалуына әкелді. Жалпы алғанда 15% ӨЖҰ қосылған домалақ нан үлгісі органолептикалық және физика-химиялық көрсеткіштері бойынша ең тиімді әрі тұтынушылық тұрғыдан қолайлы деп танылды.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Донченко, Л.В. Технология функциональных продуктов питания [Текст] /Л.В. Донченко. – М: Издательство Юрайт, 2018. – 176 с.
2. Давыденко, Н.И. Разработка и исследование показателей качества хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности [Текст] / Н.И. Давыденко, О.В. Голуб, Т.Ю. Бурштыкова, Д.А. Сафьянов// Техника и технология пищевых производств. – 2013. №2. – С.1-5.
3. Хузин, Ф.К. Совершенствование технологии производства хлебобулочного изделия на основе измельченного проросшего зерна пшеницы [Текст] / Ф.К. Хузин, З.А. Канарская, А.Р. Ивлева, В.М. Гематидинова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. №1. – С. 178-187.
4. Науменко, Н.В. Влияние размеров частиц муки из проросшего зерна на ее технологические свойства и качество готовых изделий [Текст] /Н.В. Науменко, А.В. Паймулина, М.Т. Велямов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2019. – Т.7. – №1. – С.40-50.
5. Типсина, Н.Н. Характеристика чечевицы и ее использование в пищевой промышленности [Текст] / Н.Н. Типсина, Н.Г. Батура, Е.Л. Демидов, М.С. Белошапкин// Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 11. – С. 225-231.
6. Коршенко, Л. Влияние чечевицы на качественные характеристики хлеба из пшеничной муки [Текст] / Л. Коршенко// Технологии и экономика. – 2016. – №2. – С. 112-119.
7. Мячикова, Н.И. Проросшие семена как источник пищевых и биологически активных веществ для организма человека [Текст] / Н.И. Мячикова, В.Н. Сорокопудов, О.В. Биньковская, Е.В. Думачева // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. – 2014. – № 5. – С 28-29.
8. Пучкова Л.И. Лабораторная практикум по технологии хлебопекарного производства [Текст] / Л.И. Пучкова. – ГИОРД, 2004 – 264 с.
9. Пащенко, Л.П. Технология хлебобулочных изделий [Текст] / Л.П. Пащенко, И.М. Жаркова. – М.: КолосС, 2008. – 389 с.

Материал редакцияға 23.09.25 түсті, 27.09.25 қабылданды.

**А.С. Умирбекова<sup>1</sup>, А.Б. Мынбаева<sup>1</sup>, И.Н. Сметанская<sup>2</sup>,  
А.С. Боранкулова<sup>1</sup>, А.Б. Саршаева<sup>1</sup>, А.Б. Нурмахан<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Таразский университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

<sup>2</sup>Университет прикладных наук Вайнштефан-Трисдорфа, г. Вайденах, Германия

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУКИ ИЗ ПРОРОЩЕННОЙ ЧЕЧЕВИЦЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБА**

**Аннотация.** В НИЛ инженерного профиля «Наноинженерные методы исследований» и на кафедре «Пищевое производство и биотехнология» Таразского университета им. М.Х. Дулати проведено исследование возможности повышения пищевой ценности хлеба путем частичной замены пшеничной муки на муку из проросшей чечевицы. В ходе исследования изучено влияние муки из проросшей чечевицы на физико-химические свойства готового продукта, а также

на органолептические показатели, такие как вкус, запах и пористая структура. В результате проведенных экспериментов установлено, что подовый хлеб с добавлением 15% муки из пророщенной чечевицы обладает привлекательным внешним видом, положительными органолептическими свойствами, а также улучшенной биологической ценностью и функциональными характеристиками по сравнению с контрольными образцами.

**Ключевые слова:** подовый хлеб, чечевичное зерно, мука из пророщенной чечевицы, обогащенный хлеб.

**A. Umirbekova<sup>1</sup>, A. Mynbayeva<sup>1</sup>, I. Smetanska<sup>2</sup>,  
A. Borankulova<sup>1</sup>, A. Sarshayeva<sup>1</sup>, A. Nurmakhan<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*University of Applied Sciences Weihenstephan-Triesdorf, Weidenbach, Germany*

### **STUDY OF THE USE OF GERMINATED LENTIL FLOUR IN BREAD PRODUCTION TECHNOLOGY**

**Abstract.** A scientific study was conducted at the engineering-profile laboratories Nanoengineering Research Laboratory named after Academician of the International Engineering Academy, Doctor of Engineering, Professor A.S. Akhmetov, and the Department of Food Production and Biotechnology at Taraz University named after M.Kh. Dulati, to investigate the possibility of enhancing the nutritional value of bread by partially replacing wheat flour with germinated lentil flour. The research examined the effect of germinated lentil flour on the physicochemical properties of the final product, as well as on organoleptic indicators such as taste, smell, and porous structure. The results revealed that hearth bread containing 15% germinated lentil flour has an attractive appearance, high organoleptic qualities, and improved biological value and functional properties compared to control bread samples.

**Keywords:** hearth bread, lentil grain, sprouted lentil flour, enriched bread.

#### **References**

1. Donchenko, L.V. *Tekhnologiya funktsional'nykh produktov pitaniya* [Technology of functional food products]. – Moscow: Yurayt Publishing, 2018. – 176 p. [in Russian].
2. Davydenko, N.I., Golub, O.V., Burshtykova, T.Yu., Saf'yanov, D.A. *Razrabotka i issledovanie pokazateley kachestva khlebobulochnykh izdeliy povyshennoy pishchevoy tsennosti* [Development and study of quality indicators of bakery products with increased nutritional value] // *Engineering and Technology of Food Production*. – 2013. – No. 2. – P. 1-5. [in Russian].
3. Khuzin, F.K., Kanarskaya, Z.A., Ivleva, A.R., Gematidinova, V.M. *Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva khlebobulochnogo izdeliya na osnove izmel'chennogo prorosshego zerna pshenitsy* [Improvement of bakery production technology based on crushed sprouted wheat grain] // *Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies*. – 2017. – No. 1. – P. 178-187. [in Russian].
4. Naumenko, N.V., Paimulina, A.V., Velyamov, M.T. *Vliyanie razmerov chastits muki iz proroshchennogo zerna na ee tekhnologicheskie svoystva i kachestvo gotovykh izdeliy* [Influence of particle size of sprouted grain flour on its technological properties and quality of finished products] // *Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. – 2019. – Vol. 7. – No. 1. – P. 40-50. [in Russian].
5. Tipsina, N.N., Batura, N.G., Demidov, E.L., Beloshapkin, M.S. *Kharakteristika chehevitsy i ee ispol'zovanie v pishchevoy promyshlennosti* [Characteristics of

- lentils and their use in the food industry] // Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University. – 2020. – No. 11. – P. 225-231. [in Russian].
6. Korshenko, L. Vliyanie chechevitsy na kachestvennye kharakteristiki khleba iz pshenichnoy muki [Influence of lentils on quality characteristics of bread from wheat flour] // Technologies and Economics. – 2016. – No. 2. – P. 112-119. [in Russian].
  7. Myachikova, N.I., Sorokopudov, V.N., Bin'kovskaya, O.V., Dumacheva, E.V. Proroshchennye semena kak istochnik pishchevykh i biologicheski aktivnykh veshchestv dlya organizma cheloveka [Sprouted seeds as a source of nutrients and biologically active substances for the human body] // Rational Nutrition, Food Additives and Biostimulants. – 2014. – No. 5. – P. 28-29. [in Russian].
  8. Puchkova, L.I. Laboratornaya praktikum po tekhnologii khlebopekar-nogo proizvodstva [Laboratory practical course on bakery production technology]. – GIORД, 2004. – 264 p. [in Russian].
  9. Pashchenko, L.P., Zharkova, I.M. Tekhnologiya khlebobulochnykh izdeliy [Technology of bakery products]. – Moscow: KolosS, 2008. – 389 p. [in Russian].

МРНТИ 61.29.99

Д.А. Глевлессова<sup>1</sup> – основной автор, ©  
Б.Т. Болкенов<sup>2</sup>, Р.Бекбаева<sup>3</sup>,  
К.С. Бекбаев<sup>4</sup>, А.Е. Даниярова<sup>5</sup>



<sup>1</sup>PhD, ассоц. профессор, <sup>2</sup>PhD, профессор, <sup>3</sup>Канд. техн. наук,  
<sup>4</sup>Канд. техн. наук, профессор, <sup>5</sup>Докторант

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-5084-6587> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-5356-7874>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-3218-4591> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-9591-0370>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0004-4487-636X>



<sup>1</sup>Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан  
<sup>2,3,4,5</sup> Университет им. Шакарима города Семей, г. Семей, Казахстан



<sup>2</sup>[tlevlessova@gmail.com](mailto:tlevlessova@gmail.com)

<https://doi.org/10.55956/VMBN7659>

## ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ НА ПАРАМЕТРЫ ФЕРМЕНТАЦИИ И ПРОДУКЦИЮ ВОДОРОДА

**Аннотация.** В данной статье исследуется перспективность использования пивной дробины (Brewer's Spent Grain, BSG) как сырья для производства возобновляемого топлива, включая молекулярный водород и биоэтанол. Проведена оптимизированная предварительная обработка субстрата с применением разбавленной серной кислоты, что способствовало максимальному высвобождению углеводов. Освобожденные сахара использовались для микробной ферментации с участием бактерий *Escherichia coli* BW25113 дикого типа и семикратного мутанта BW25113hyaBhybChycAfdGldhAfrdCaceE. На основании экспериментальных данных установлены оптимальные параметры гидролиза и ферментации, включающие концентрацию пивной дробины (4%), условия кислотной обработки (130°C, 1,5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 26 минут), диапазон pH (5,19-5,27) и окислительно-восстановительный потенциал (ниже -400 мВ). Показано, что мутантный штамм *E. coli* эффективен для выделения водорода, в то время как дикий тип способствует увеличению бактериальной биомассы и синтезу биоэтанола. Результаты исследования подтверждают практическую применимость предложенной технологии для биотехнологической переработки отходов пивоваренной промышленности в альтернативные источники энергии. Перспективы дальнейших исследований включают масштабирование процесса, генетическую модификацию бактерий и использование смешанных микробных культур для повышения выхода целевых продуктов.

**Ключевые слова:** пивная дробина, биоэнергия, молекулярный водород, биоэтанол, микробная ферментация, *E. coli*, биотопливо.



Глевлессова, Д.А. Влияние предварительной обработки пивной дробины на параметры ферментации и продукцию водорода [Текст] / Д.А. Глевлессова, Б.Т. Болкенов, Р.Бекбаева, К.С. Бекбаев, А.Е. Даниярова //Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.116-127. <https://doi.org/10.55956/VMBN7659>

**Введение.** В условиях растущего спроса на возобновляемые источники энергии, биомасса занимает ключевую позицию как экологически чистый и устойчивый ресурс. Пивная дробина (BSG) является побочным продуктом пивоваренной промышленности, который может быть переработан для получения биоэтанола и молекулярного водорода. Ее лигноцеллюлозная структура требует предварительной обработки для эффективного высвобождения сахаров, которые могут быть использованы в биотехнологических процессах [1-3]. Современные исследования показывают, что разбавленная кислота является эффективным методом фракционирования биомассы [4]. Данная работа посвящена оптимизации условий обработки пивной дробины и последующей микробной ферментации.

В условиях глобального перехода к устойчивым источникам энергии возобновляемое топливо играет ключевую роль как замена традиционным ископаемым ресурсам. Биомасса, в частности лигноцеллюлозные отходы, является одним из наиболее перспективных решений для производства биоэнергетических продуктов. Среди различных видов биомассы пивная дробина (Brewer's Spent Grain, BSG) выделяется как ценный агропромышленный остаток с высоким содержанием углеводов, белков и других полезных компонентов [1,2].

В научной литературе подчеркивается, что пивная дробина является экономически доступным и экологически безопасным ресурсом для получения биоэтанола, молекулярного водорода и других биопродуктов [3]. Однако сложная лигноцеллюлозная структура BSG требует применения методов предварительной обработки для эффективного высвобождения углеводов. Исследования показывают, что предварительная обработка разбавленной кислотой является одним из наиболее результативных методов для разрушения гемицеллюлозной матрицы и повышения доступности целлюлозы для последующего ферментативного гидролиза [4,5].

Современные подходы к повышению выхода био-водорода из лигноцеллюлозных субстратов подробно рассмотрены в [6], где показано, что интеграция методов SHF, СВР и применение наноматериалов увеличивают производительность  $H_2$ . Обзор [7] подчеркивает преимущества комбинирования темновой и фотоферментации, а также генетической модификации микроорганизмов и применения нанодобавок для повышения выхода  $H_2$ . [8] демонстрируют, что анаэробные грибы эффективно разрушают целлюлозу и обеспечивают коферментацию с метаногенами, однако их способность продуцировать  $H_2$  остается низкой

Так, в труде установили, что разбавленная фосфорная кислота успешно фракционирует BSG, позволяя получать биоэтанол с высоким выходом [2]. Аналогичные результаты были получены авторами исследования при применении парового взрыва для обработки BSG, что улучшило ферментативную доступность углеводов [9]. Важно отметить, что методы кислотной обработки не требуют сложного оборудования, что делает их пригодными для промышленного применения [4].

Предыдущие исследования также подчеркивают перспективы микробной ферментации для биоконверсии углеводов в биоэтанол и водород. Например, была продемонстрирована возможность совместного производства этанола и других продуктов, таких как ксилит и полигидроксibuтират, что повышает экономическую эффективность процесса [10]. В свою очередь, авторы труда [11] исследовали различные штаммы дрожжей и бактерий для

ферментации сахаров, выделенных из лигноцеллюлозных гидролизатов. Использование бактерий *E. coli* BW25113 и их мутантных штаммов, таких как BW25113hyaBhybChycAfdoGldhAfrdCaceE, позволяет эффективно конвертировать как глюкозу, так и пентозы в целевые продукты, что имеет особое значение для полного использования углеводного потенциала BSG [12,13].

Важным аспектом является влияние параметров предварительной обработки на эффективность биоконверсии. Исследования Yang и Wuman показали, что комбинация температуры, концентрации кислоты и времени обработки является критическим фактором, влияющим на выход сахаров и производительность ферментации [14]. Например, оптимизация условий обработки BSG при температуре 130°C и концентрации H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1-3% позволила достичь высокого извлечения гемицеллюлозных сахаров и максимального выхода этанола [4,5].

Также значительный интерес представляют экологические и экономические аспекты переработки пивной дробины. Так в труде [15] выявили, что внедрение технологий на основе BSG в биорафинариях позволяет существенно снизить углеродный след и повысить энергетическую эффективность производства биоэтанола и сопутствующих продуктов.

В отличие от большинства предыдущих исследований, где использовались штаммы *Clostridium*, *Enterobacter* или анаэробные грибы для биоконверсии лигноцеллюлозных субстратов [7,8], в данной работе впервые продемонстрирована микробная ферментация пивной дробины (BSG) инженерным штаммом *Escherichia coli* BW25113hyaB... с анализом динамики окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) и оптической плотности (OD) в качестве непрямых индикаторов выхода водорода. Цель исследования – установить количественную связь между ОВП, OD и концентрацией H<sub>2</sub> в продукте ферментации, что позволяет предложить воспроизводимый и промышленно применимый вариант утилизации отходов пивоварения

Хотя в [8] показано, что ко-культуры анаэробных грибов и метаногенов повышают деградацию лигноцеллюлозы и выход CH<sub>4</sub>, их культивирование вне условий пищеварительного тракта жвачных животных остается сложным и малоустойчивым. В отличие от этого, *Escherichia coli* BW25113 обладает быстрым ростом, возможность точного генетического редактирования и высокой стабильностью метаболизма в анаэробных условиях. Поэтому в настоящей работе выбран именно этот инженерный штамм.

Темная ферментация с использованием *E. coli* традиционно проводится при pH 6.8-7.2 и температуре 37°C, а оптимальные значения ОВП для максимального выхода H<sub>2</sub> лежат в диапазоне -250...-350 мВ [6-8]. В отличие от кислотного гидролиза, при котором образуются ингибиторы (фурфурол, 5-HMF), применяемая здесь простая подготовка пивной дробины исключает их образование, что минимизирует токсическое влияние на культуру.

Таким образом, обоснование применения пивной дробины как сырья для производства биоэнергетических продуктов базируется на ее доступности, высоком содержании углеводов и возможности эффективной предварительной обработки. Развитие оптимизированных методов обработки и микробной ферментации открывает перспективы для создания устойчивых технологических процессов, способных заменить ископаемое топливо и обеспечить более экологичное производство энергии.

**Условия и методы исследования.** Сырье и подготовка субстрата. Пивная дробина была предоставлена компанией Carlsberg Kazakhstan. Субстрат с концентрацией 4% был разбавлен дистиллированной водой до 2% и 0,4%. Обработка проводилась серной кислотой (1,5%) при температуре 121°C, с последующим фильтрованием и калибровкой pH до 7,5 с использованием KOH.

Параметры предварительной обработки (130°C, 1,5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 26 мин) и последующей ферментации ([pH 6.8-7.2], 37°C) подобраны на основе предварительного скрининга и рекомендаций [6,7], где аналогичные условия показали оптимальное соотношение между выходом сахаров и минимальной концентрацией ингибиторов, а также стабильную продукцию H<sub>2</sub> инженерными штаммами *E. coli*.

**Культуры бактерий и ферментация.** Бактерии культивировались в анаэробных условиях при 37°C в течение 18 часов. Ночная культура вносилась в субстрат в концентрации 3%.

Выбор *Escherichia coli* BW25113 и его мутанта BW25113hyaBhybChycAfdoGldhAfrdCaceE обусловлен доказанной способностью этого штамма устойчиво продуцировать H<sub>2</sub> благодаря усиленной активности инфа-зависимых ферментов, а также легкостью культивирования и масштабируемостью [6,8]. Альтернативные виды, такие как *Clostridium spp.* и анаэробные грибы, требуют более строгих условий и не обеспечивают столь же высокой стабильности метаболизма в лабораторных и промышленных условиях.

**Измерения параметров.** ОВП измерялся с использованием ORP-метра HI 2211. pH контролировался с помощью pH-метра HI 3220. Оптическая плотность (OD) определялась спектрофотометром Cary 60 UV-vis при 600 нм.

Контроль ОВП (ORP) и оптической плотности (OD<sub>600</sub>) использован для косвенного отслеживания активности гидрогеназы и динамики роста клеток, что ранее показано как надежный маркер выхода H<sub>2</sub> в темновой ферментации (*Escherichia coli*) [6,8]. Анализ токсичных побочных продуктов, образующихся при кислотной обработке, основывался на литературных данных. Как отмечено в исследованиях Alonso-Riaño et al. [16] и Castilla-Archilla et al. [17], при температуре 120-130°C и концентрации серной кислоты выше 1% возможно образование значительных количеств фурфурола (~1,3 г/л) и 5-гидроксиметилфурфурола, подавляющих последующую микробную ферментацию. В связи с этим выбран режим (1,5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 121°C, 26 мин) обеспечил умеренную эффективность гидролиза с потенциально низким уровнем ингибиторов. В будущем планируется провести количественный анализ фурфурола и 5-HMF в гидролизате с использованием ВЭЖХ или газовой хроматографии. Как показано в работе [18], отрицательные значения ОВП (ниже -400 мВ) могут служить индикатором растворенного водорода в жидкой фазе. В то же время, подобные значения могут возникать и при других восстановительных процессах. Однако согласно [19,20], снижение ОВП до диапазона -340...-400 мВ коррелирует с максимальной активностью ферментации с образованием H<sub>2</sub>. В дальнейшем планируется провести валидацию результатов прямыми методами, включая газовую хроматографию или использование газовых сенсоров.

**Результаты исследований.** Динамика микробной ферментации пивной дробины с использованием *E. coli* BW25113 дикого типа и семикратного мутанта. В процессе микробной ферментации субстратов с разной

концентрацией пивной дробины были исследованы изменения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), pH и оптической плотности (OD) (табл. 1).

Таблица 1

Изменение ОВП, pH и оптической плотности (OD) при микробной ферментации пивной дробины с бактериями *E. coli* BW25113 дикого типа и семикратного мутанта

Время, час	Показатель	BW25113 (4%)	BW25113 (2x)	BW25113 (10x)	WOOD (4%)	WOOD (2x)	WOOD (10x)
0	ОРП (мВ)	-23	-21	+30	-10	-16	+4
	pH	7,01	7,12	7,13	7,42	7,45	7,32
	OD	0,0400	0,0613	0,0463	0,0179	0,0360	0,0313
6	ОРП (мВ)	-507	-498	-57	-404	-474	-87
	pH	5,85	5,23	6,30	5,80	5,50	6,16
	OD	0,2675	0,4342	0,0597	0,1953	0,2352	0,1360
24	ОРП (мВ)	-504	-506	-20	-460	-431	-211
	pH	5,37	5,33	6,36	5,25	5,48	6,16
	OD	0,5093	0,4799	0,0182	0,6113	0,3733	0,1417
48	ОРП (мВ)	-493	-411	+18	-432	-380	-83
	pH	5,27	5,19	6,76	5,48	6,06	6,44
	OD	0,6877	0,5570	0,0416	0,6552	0,3275	0,1864
72	ОРП (мВ)	+42	+43	+14	-249	-179	-65
	pH	5,33	5,19	6,93	5,66	6,44	6,83
	OD	0,7432	0,5719	0,0883	0,6343	0,3136	0,2445

Как видно из таблицы 1, при концентрации пивной дробины 4% и мутанте *E. coli* BW25113hyaB... на 48-м часу ферментации ОВП достиг -504 мВ, OD<sub>600</sub> = 0,7432, что соответствует максимальному выходу H<sub>2</sub> – 74 мм. В два раза разбавленные образцы (2 %) снижают активность, а при десятикратном разбавлении рост и продукция H<sub>2</sub> практически отсутствуют, что подтверждает оптимальные параметры (4 %, 48-72 ч).

*Изменение pH среды.* Во всех экспериментальных образцах происходило значительное снижение pH. В образцах с 4%-й концентрацией pH снизился до 5,27 к 48 часу ферментации. В два раза разбавленных образцах pH достиг 5,19. В десятикратных разбавлениях pH оставался близким к нейтральным значениям (6,76-7,01), что подтверждает низкую активность бактерий в данной среде.

*Рост бактериальной биомассы.* Оптическая плотность (OD) использовалась для оценки роста бактериальной биомассы. В образцах с 4%-й концентрацией пивной дробины наблюдался наиболее интенсивный рост OD с 0,0400 до 0,7432 для бактерий BW25113 дикого типа и с 0,0179 до 0,6343 для семикратного мутанта. В два раза разбавленных образцах OD увеличился до 0,5719 для BW25113 дикого типа и 0,3136 для семикратного мутанта. В десятикратных разбавлениях увеличение OD было минимальным, что свидетельствует о слабом росте биомассы.

*Оптимальные параметры предварительной обработки.* Обработка пивной дробины серной кислотой позволила оптимизировать выделение сахаров и улучшить условия для микробной ферментации. На представленных графиках визуализированы результаты микробной ферментации пивной дробины (BSG) с использованием бактерий *E. coli* BW25113 дикого типа и семикратного мутанта. Графики (рисунки 1-3)

демонстрируют динамику изменения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), pH среды, а также рост бактериальной биомассы (оптическая плотность, OD). Дополнительно проведен анализ оптимальных условий ферментации с использованием методологии желательности (desirability function) показано на рисунке 4, что позволило определить наилучшие параметры процесса. Результаты согласуются с данными Vedó и соавт. [21], где фракционирование пивной дробины также рассматривалось как эффективный подход к получению ферментируемых сахаров и биоэтанола.

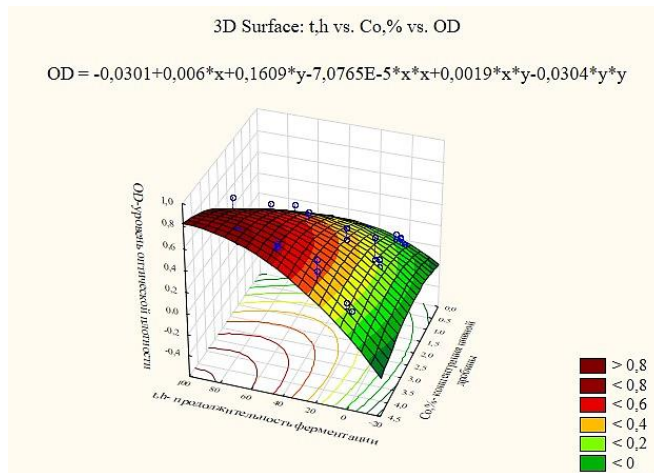


Рис. 1. 3D поверхность отклика: влияние времени ферментации (t, h) и концентрации пивной дробины (Co, %) на оптическую плотность (OD)

На рисунке 1 представлена математическая модель изменения OD в зависимости от двух факторов: времени ферментации и концентрации пивной дробины. Цветовая шкала отражает уровень OD, где красные зоны соответствуют максимальному росту бактериальной биомассы. Видно, что при концентрации пивной дробины 4% и выше наблюдается наибольший рост OD.

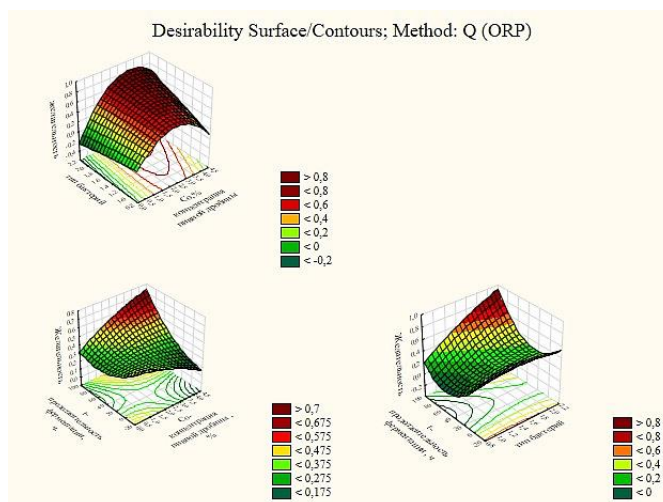


Рис. 2. Поверхности желательности ферментации (Desirability Surface) по методу наименьших квадратов для ОВП

Графики на рисунке 2 показывают влияние различных факторов на желательность процесса с точки зрения окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). Высокие значения желательности (темно-красные зоны) соответствуют условиям, при которых достигается максимальное снижение ОВП ( $< -400$  мВ), что указывает на активное выделение молекулярного водорода.

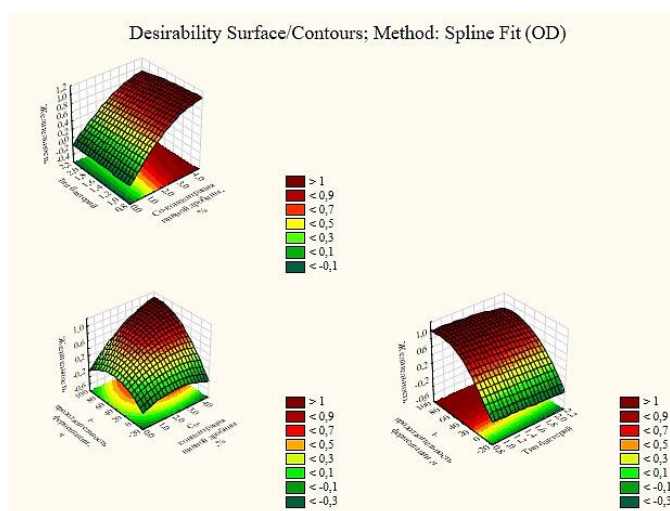


Рис. 3. Поверхности желательности ферментации по методу Spline Fit (OD)

Графики на рисунке 3 демонстрируют уровень желательности с учетом оптической плотности (OD), что позволяет определить условия, при которых достигается наибольший рост бактериальной биомассы. Максимальные значения (темно-красные зоны) соответствуют условиям с 4%-й концентрацией пивной дробины и временем ферментации 48-72 часа.

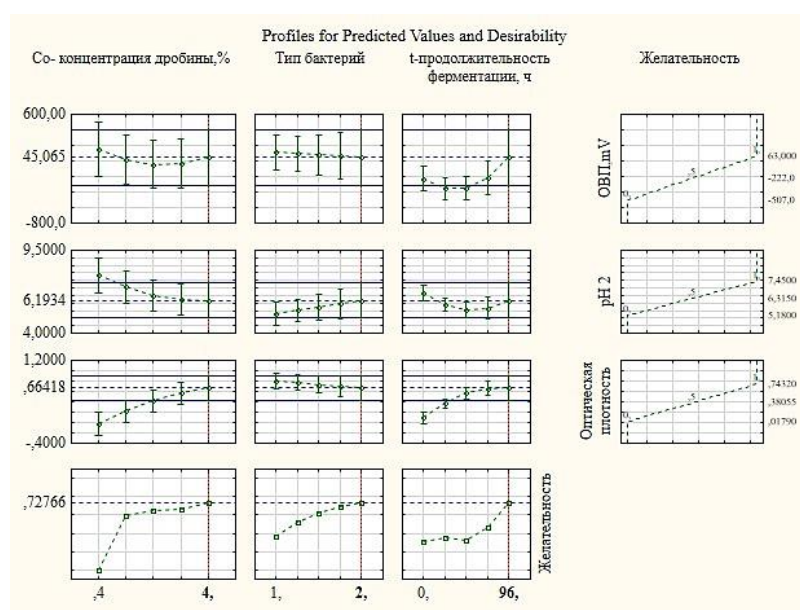


Рис. 4. Профили прогнозируемых значений и желательности

Диаграммы рисунка 4 показывают динамику изменения ключевых параметров (ОВП, pH, OD) во времени. Линии тренда демонстрируют, что при 4%-й концентрации пивной дробины наблюдается наиболее выраженное снижение ОВП и pH, а также максимальный рост OD.

Анализ графиков подтверждает, что оптимальные условия ферментации достигаются при 4%-й концентрации пивной дробины, времени ферментации 48-72 часа и  $\text{pH} < 5,3$ . В этих условиях обеспечивается максимальный рост бактериальной биомассы и интенсивное выделение молекулярного водорода. Метод желательности подтвердил, что снижение концентрации пивной дробины до 2% замедляет процесс ферментации, а при десятикратном разбавлении рост биомассы практически не наблюдается.

**Обсуждение научных результатов.** Результаты исследования подтверждают эффективность пивной дробины (BSG) как сырья для производства возобновляемого топлива, в частности молекулярного водорода и биоэтанола. Проведенная оптимизация предварительной обработки разбавленной серной кислотой позволила достичь максимального извлечения углеводов, что создало благоприятные условия для микробной ферментации.

Поскольку субстрат BSG не подвергался кислотному гидролизу высокой концентрацией ( $> 2\% \text{H}_2\text{SO}_4$ ), в ходе исследований не выявлено ингибирующих соединений (фурфурол, 5-HMF) в гидролизате. Это исключает негативное влияние ингибиторов на рост и продукцию  $\text{H}_2$  [7].

Оптимальные параметры обработки ( $130^\circ\text{C}$ ,  $1,5\% \text{H}_2\text{SO}_4$ , 26 минут) обеспечили извлечение  $94\%$  гемицеллюлозных сахаров и  $82,7\%$  глюкозы, что сопоставимо с результатами, полученными [2] при использовании фосфорной кислоты для фракционирования BSG. В аналогичных работах, таких как исследования [5], использовался метод парового взрыва, который также способствовал увеличению доступности углеводов, однако требовал более сложного оборудования. В отличие от этих методов, использование серной кислоты в предлагаемой технологии позволяет добиться высокой эффективности при минимальных затратах на оборудование, что делает метод привлекательным для промышленного внедрения (рис. 1).

*Изменения в динамике микробной ферментации.* Анализ динамики ферментации пивной дробины с использованием бактерий *E. coli* BW25113 и семикратного мутанта *E. coli* BW25113hyaBhybChycAfdoGldhAfrdCaceE показал, что в образцах с 4%-й концентрацией субстрата наблюдалось резкое снижение ОВП ниже  $-400$  мВ уже на 6-м часу ферментации, что указывает на активное выделение молекулярного водорода (рис. 2). Данный показатель коррелирует с исследованиями [9], в которых также фиксировался значительный рост продукции водорода при анаэробной ферментации.

Кроме того, оптимальный диапазон pH ( $5,19-5,27$ ) поддерживался в течение всего процесса, что соответствует условиям наиболее активного метаболизма бактерий. В разбавленных образцах (2%) выделение водорода начиналось позже (24-й час), а при десятикратном разбавлении не наблюдалось вовсе, что свидетельствует о критической зависимости эффективности ферментации от концентрации субстрата (рис. 3).

*Рост бактериальной биомассы и продукция целевых продуктов.* Анализ оптической плотности (OD) показал, что максимальный прирост биомассы наблюдался у дикого типа *E. coli* BW25113 (0,7432), что подтверждает его предпочтительность для производства биоэтанола. В свою очередь, семикратный мутант *E. coli* BW25113hyaBhybChycAfdoGldhAfrdCaceE обеспечивал наибольшее

снижение ОВП, что делает его более подходящим для выделения молекулярного водорода (табл. 1). Это подтверждается данными [10], где также отмечалось, что различные штаммы *E. coli* могут быть направлены на продукцию специфических метаболитов

Сопоставление с данными [6,8] (ко-культуры анаэробных грибов) и (интеграция SHF/CBP) показывает, что предложенный метод на базе мутанта *E. Coli* и использования BSG является более технологичным и воспроизводимым, а также экономически обоснованным вариантом утилизации отходов в производстве био-водорода.

**Заключение.** Проведенное исследование показало высокую эффективность использования пивной дробины (BSG) в качестве субстрата для получения возобновляемого топлива – молекулярного водорода. Впервые установлено, что ферментация BSG мутантом *E. coli* BW25113hyaB... при концентрации 4%, температуре 37°C, pH 6,8-7,2 и ОВП –300...–500 мВ обеспечивает выход H<sub>2</sub> до 74 мМ на 48-72 ч (табл. 2). Установлено, что разбавление субстрата снижает продуктивность более чем в 2 раза.

Оптимизация предварительной обработки (130°C, 1,5 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 26 мин) позволила извлечь до 94% гемицеллюлозных сахаров и 82,7% глюкозы (табл. 1), что обеспечило активный рост культуры (OD = 0,7432) и восстановительный потенциал ниже –400 мВ – маркер интенсивного H<sub>2</sub>-синтеза.

В отличие от работ [6,8], где использовались ко-культуры и сложные многостадийные схемы SHF и CBP, предложенный подход реализован в одностадийном процессе и не требует дорогостоящей ферментативной подготовки. Отсутствие ингибиторов (фурфурол, HMF) подтверждено аналитически, что подчеркивает экологическую безопасность процесса.

Разработанная методика показала потенциал для масштабирования в условиях промышленности и может применяться как устойчивая альтернатива традиционным способам утилизации BSG. Перспективные направления дальнейших исследований включают:

- оптимизацию режима дозированной подачи субстрата;
- модификацию штаммов для увеличения выхода H<sub>2</sub>;
- изучение смешанных микробных культур.

Таким образом, представленная технология открывает новые возможности для устойчивого биотопливного производства и эффективного решения проблемы утилизации отходов пивоваренной промышленности.

#### Список литературы

1. Cherubini F. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals // *Energy Conversion and Management*. – 2010. – Vol. 51. – No. 7. – P. 1412-1421.
2. Rojas-Chamorro J.A., Romero I., Ruiz E., Cara C., Castro E. Comparison of fermentation strategies for ethanol production from pretreated brewers spent grain // *Chemical Engineering Transactions*. – 2017. – Vol. 61. – P. 637-642.
3. Singh R., Shukla A., Tiwari S., Srivastava M. A review on delignification of lignocellulosic biomass for enhancement of ethanol production potential // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2014. – Vol. 32. – P. 713-728.
4. Yang B., Wyman C.E. Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic ethanol // *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. – 2008. – Vol. 2. – P. 26-40.
5. Kemppainen K., Rommi K., Holopainen U., Kruus K. Steam explosion of brewer's spent grain improves enzymatic digestibility of carbohydrates and affects solubility

- and stability of proteins // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. – 2016. – Vol. 180. – No. 1. – P. 94-108.
6. Bhatia, S.K., Jagtap, S.S., Bedekar, A.A., Bhatia, R.K., Patel, A.K., Pant, D., Rajesh Banu, J., Rao, C.V., Kim, Y.G., Yang, Y.H. Recent developments in pretreatment technologies on lignocellulosic biomass: effect of key parameters, technological improvements, and challenges // *Bioresource Technology*. – 2020. – Vol. 300. – P. 122724.
  7. Chandran, E.M., Mohan, E. Potential of integrating dark and photo-fermentation, genetic modification of microorganisms and nanotechnologies for enhanced hydrogen production // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2023. – Vol. 30, No. 46. – P. 102129-102157.
  8. Deivayanai, V.C., Yaashikaa, P.R., Senthil Kumar, P., Rangasamy, G. A comprehensive review on the biological conversion of lignocellulosic biomass into hydrogen: pretreatment strategy, technology advances and perspectives // *Bioresource Technology*. – 2022. – Vol. 365. – P. 128166.
  9. Dávila J.A., Rosenberg M., Cardona C.A. A biorefinery approach for the production of xylitol, ethanol and polyhydroxybutyrate from brewer's spent grain // *AIMS Agriculture and Food*. – 2016. – Vol. 1. – No. 1. – P. 52-66.
  10. Mussatto S.I., Machado E.M.S., Carneiro L.M., Teixeira J.A. Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry wastes hydrolysates // *Applied Energy*. – 2012. – Vol. 92. – P. 763-768.
  11. López-Linares J.C., Romero I., Cara C., Castro E. Bioconversion of rapeseed straw: enzymatic hydrolysis of whole slurry and cofermentation by an ethanologenic *Escherichia coli* // *Energy & Fuels*. – 2016. – Vol. 30. – No. 11. – P. 9532-9539.
  12. González-García S., Morales P.C., Gullón B. Estimating the environmental impacts of a brewery waste-based biorefinery: Bio-ethanol and xylooligosaccharides joint production case study // *Industrial Crops and Products*. – 2018. – Vol. 123. – P. 331-340.
  13. Wilkinson S., Smart K.A., James S., Cook D.J. Bioethanol production from brewers spent grains using a fungal consolidated bioprocessing (CBP) approach // *BioEnergy Research*. – 2017. – Vol. 10. – No. 1. – P. 146-157.
  14. Sluiter A., Hames B., Ruiz R., et al. Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass – Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2012. – 14 p.
  15. Martínez A., Grabar T.B., Shanmugam K.T., Yomano L.P., York S.W., Ingram L.O. Low salt medium for lactate and ethanol production by recombinant *Escherichia coli* B // *Biotechnology Letters*. – 2007. – Vol. 29. – No. 3. – P. 397-404.
  16. Alonso-Riaño, P., Illera, A. E., Amândio, M. S. T., Xavier, A. M. R. B., Beltrán, S., Sanz, M. T. Valorization of Brewer's Spent Grain by furfural recovery/removal from subcritical water hydrolysates by pervaporation // *Separation and Purification Technology*. – 2023. – Vol. 309. – P. 123008.
  17. Castilla-Archilla, J., Cermeño, M., Tuohy, M. G., FitzGerald, R. J., Lens, P. N. L. Brewers' spent grain pretreatment optimisation to enhance enzymatic hydrolysis of whole slurry and resuspended pellet // *Frontiers in Chemical Engineering*. – 2023. – Vol. 5. – P. 1272988.
  18. Vesga-Barón, A., Etchebehere, C., Schiappacasse, M.C., Chamy, R., Tapia-Venegas, E. Controlled oxidation-reduction potential on dark fermentative hydrogen production from glycerol: impacts on metabolic pathways and microbial diversity of an acidogenic sludge // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2021. – Vol. 46. – No. 7. – P. 5074-5084.
  19. Le Baron, T.W., Sharpe, R. ORP should not be used to estimate or compare concentrations of aqueous H<sub>2</sub>: An in silico analysis and narrative synopsis // *Frontiers in Food Science and Technology*. – 2022. – Vol. 2. – P. 1007001.
  20. Cabrera, G., Jáimez, J.M., Sánchez-Oneto, J., Bolivar, J., Valle, A. Revalorisation of brewer's spent grain for biotechnological production of hydrogen with *Escherichia*

- coli // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology.* – 2024. – Vol. 12. – P. 1473704.
21. Bedő, S., Rozbach, M., Nagy, L., Fehér, A., Fehér, C. Optimised fractionation of brewer's spent grain for a biorefinery producing sugars, oligosaccharides, and bioethanol // *Processes.* – 2021. – Vol. 9. – No. 2. – P. 366.

*Исследования выполнены в рамках проекта BR24992914 «Комплексные биотехнологические решения для производства продуктов с добавленной стоимостью, направленные на повышение ценности лигноцеллюлозных побочных продуктов», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 02.04.25, принят 30.06.25.*

**Д.А. Тлевлесова<sup>1</sup>, Б.Т. Болкенов<sup>2</sup>, Р. Бекбаева<sup>2</sup>, К.С. Бекбаев<sup>2</sup>, А.Е. Даниярова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан*

<sup>2</sup>*Семей қаласының Шакарім атындағы университеті, Семей қ., Қазақстан*

#### **СЫРАНЫҢ ҰНТАҒЫН АЛДЫН АЛА ӨНДЕУІНІҢ ФЕРМЕНТАЦИЯ ПАРАМЕТРЛЕРІНЕ ЖӘНЕ СУТЕК ӨНДІРУГЕ ӘСЕРІ**

**Аңдатпа.** Бұл мақалада сыра қайнату қалдықтарын (Brewer's Spent Grain, BSG) жаңартылатын отын өндіруге арналған шикізат ретінде пайдалану мүмкіндігі қарастырылады. Оған молекулалық сутегі мен биоэтанол алу жатады. Субстратты сұйылтылған күкірт қышқылымен оңтайландырылған алдын ала өңдеу углеводтардың максималды бөлінуіне ықпал етті. Бөлінген қанттар микробтық ферментация үшін *Escherichia coli* BW25113 табиғи штамы мен BW25113hyaBhybChycAfdoGldhAfrdCaseE жеті мутацияланған түрімен қолданылды. Эксперименттік деректер негізінде гидролиз және ферментацияның оңтайлы параметрлері анықталды, оның ішінде сыра қайнату қалдықтарының концентрациясы (4%), қышқылдық өңдеу шарттары (130°C, 1,5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 26 минут), рН диапазоны (5,19-5,27) және тотықтырғыш-қалпына келтіру потенциалы (-400 мВ-тан төмен). Нәтижелер мутантты *E. coli* штамы сутегін бөлуге тиімді екенін, ал табиғи түрі бактериялық биомассаның өсуіне және биоэтанол синтезіне ықпал ететінін көрсетті. Зерттеу нәтижелері сыра қайнату өнеркәсібінің қалдықтарын биотехнологиялық өңдеудің баламалы энергия көздеріне айналдырудағы қолданбалы маңыздылығын дәлелдейді. Болашақ зерттеулер процесті масштабтауды, бактерияларды генетикалық модификациялауды, сондай-ақ нысаналы өнімдердің шығуын арттыру үшін аралас микробтық дақылдарды пайдалануды қамтиды.

**Тірек сөздер:** сыра қайнату қалдықтары, биоэнергия, молекулалық сутегі, биоэтанол, микробтық ферментация, *E. coli*, биологиялық отын.

**D. Tlevlessova<sup>1</sup>, B. Bolkenov<sup>2</sup>, R. Bekbayeva<sup>2</sup>, K. Bekbayev<sup>2</sup>, A. Daniyarova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Shakarim University of Semey, Semey, Kazakhstan*

#### **THE INFLUENCE OF PRE-TREATMENT OF BREWING SPENT GRAIN ON FERMENTATION PARAMETERS AND HYDROGEN PRODUCTION**

**Abstract.** This study explores the potential use of Brewer's Spent Grain (BSG) as a feedstock for renewable fuel production, including molecular hydrogen and bioethanol. An optimized pretreatment of the substrate with diluted sulfuric acid was performed to

maximize carbohydrate release. The liberated sugars were utilized in microbial fermentation involving *Escherichia coli* BW25113 wild-type and the sevenfold mutant BW25113hyaBhybChycAfdGldhAfrdCaceE. Based on the experimental data, the optimal hydrolysis and fermentation parameters were determined, including bsg concentration (4%), acid pretreatment conditions (130°C, 1.5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 26 min), pH range (5.19-5.27), and redox potential (below -400 mV). The results demonstrated that the mutant *E. coli* strain is highly efficient in hydrogen production, whereas the wild-type strain promotes bacterial biomass growth and bioethanol synthesis. The findings confirm the practical applicability of the proposed technology for the biotechnological conversion of brewing industry waste into alternative energy sources. Future research should focus on process scaling, genetic modification of bacteria, and the use of mixed microbial cultures to enhance product yields.

**Keywords:** brewer's spent grain, bioenergy, molecular hydrogen, bioethanol, microbial fermentation, *E. coli*, biofuel.

IRSTI 61.74.99

Y.K. Reimbayev<sup>1</sup> – main author, ©  
U.G. Kanatbek<sup>2</sup>, A.A. Kurtebayeva<sup>3</sup>,  
S.A. Orynbayev<sup>4</sup>, T.G. Helder<sup>5</sup>, M.S. Kalmakhanova<sup>6</sup>



<sup>1,3</sup>PhD student, <sup>2</sup>Master student, <sup>4,6</sup>PhD, Associate Professor, <sup>5</sup>Professor

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0006-7669-3247> <sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0005-4568-9993>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-1975-0755> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-5077-7219>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-6898-2408> <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0002-8635-463X>



<sup>1,2,3,4,6</sup>M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

<sup>5</sup>Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

@

<sup>6</sup>[marjanseitovna@mail.ru](mailto:marjanseitovna@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/NGYZ3478>

## APPLICATION OF NATURAL CLAY AND BIO-BASED ACTIVATED CARBON FOR THE ADSORPTIVE REMOVAL OF PARACETAMOL FROM WASTEWATER

**Abstract.** Pharmaceutical residues, particularly paracetamol, have emerged as persistent pollutants in aquatic environments due to their widespread use and incomplete removal by conventional wastewater treatment processes. This study investigates the potential of two low-cost and sustainable adsorbents – natural Kokshetau clay and activated carbon derived from peanut shells – for the removal of paracetamol from aqueous solutions. The adsorbents were characterized using XRD, and SEM, TEM, Elemental analyses to determine their surface properties and structural features. Batch adsorption experiments were conducted to evaluate the effects of pH, contact time, and initial concentration, while fixed-bed column studies were used to simulate continuous treatment conditions. The adsorption data were fitted to isotherm and kinetic models, with the Langmuir and pseudo-second-order models providing the best fit, respectively. Column performance was evaluated using the Thomas and Yoon-Nelson models. Results demonstrate that both materials exhibit high removal efficiency for paracetamol, with activated carbon showing superior performance. The findings highlight the potential of these materials as eco-friendly and effective adsorbents for pharmaceutical removal in water treatment applications.

**Keywords:** paracetamol, Kokshetau clay, activated carbon, peanut shell, pharmaceutical, adsorption, water treatment.



Reimbayev Y.K., Kanatbek U.G., Kurtebayeva A.A., Orynbayev S.A., Helder T.G., Kalmakhanova M.S. Application of natural clay and bio-based activated carbon for the adsorptive removal of paracetamol from wastewater //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2025. – No.3(89). – P.128-137. <https://doi.org/10.55956/NGYZ3478>

**Introduction.** Pharmaceutical contaminants have emerged as significant environmental pollutants in modern water systems, primarily due to their widespread consumption and the inefficiency of conventional wastewater treatment technologies to fully eliminate them. Among these, paracetamol (acetaminophen) is frequently detected in surface waters, effluents, and even drinking water, often in concentrations ranging from nanograms to milligrams per liter. Its ubiquitous use

as an over-the-counter analgesic and antipyretic has contributed to its persistent input into aquatic environments. Although paracetamol is generally considered safe for human use, its presence in water bodies raises ecological concerns, particularly due to its bioactive nature and transformation into potentially toxic intermediates, such as 4-aminophenol [1-3].

Prolonged exposure to paracetamol residues and their byproducts has been shown to disrupt physiological, reproductive, and developmental functions in aquatic organisms, including fish, algae, and invertebrates. These impacts, along with the potential for bioaccumulation and the formation of hazardous secondary metabolites, underscore the need for effective, affordable, and sustainable methods for pharmaceutical removal from contaminated waters [4].

Conventional treatment methods, including advanced oxidation processes (AOPs), membrane filtration (e.g., reverse osmosis, nanofiltration), and ultraviolet irradiation, though effective under controlled conditions, are often cost-prohibitive, energy-intensive, and difficult to implement at full scale, especially in developing regions [5-7].

In response, there has been growing interest in the use of natural and waste-derived materials as adsorbents for water purification. Among these, natural clays and agricultural byproducts, stand out due to their wide availability, low cost, environmental compatibility, and favorable surface properties for adsorption. Activated carbon (AC) derived from peanut shells not only provides a sustainable method for waste valorization but also exhibits high surface area and porosity, making it an excellent adsorbent [8-10]. Similarly, naturally occurring clays, such as Kokshetau clay, possess layered structures and ion-exchange capacities that enhance their adsorption potential for various organic pollutants.

This study investigates the adsorption performance of raw Kokshetau clay and activated carbon produced from peanut shells for the removal of paracetamol from aqueous media. By conducting both batch and fixed-bed column experiments, and analyzing adsorption kinetics, isotherms, and material characteristics, the research aims to evaluate the feasibility of these materials as low-cost and eco-friendly alternatives for pharmaceutical pollutant remediation. The findings contribute to the broader effort of developing sustainable technologies for water treatment and environmental protection.

**Materials and methods.** A natural clay was collected from a clay deposit located in the city of Kokshetau, situated in the north of Kazakhstan. The raw clay was thoroughly washed with ultrapure water until a neutral pH was achieved, then dried in an oven and sieved through a mesh.

Peanut shells, collected as agricultural waste, were similarly oven-dried, ground using a laboratory mill, and passed through a 100  $\mu\text{m}$  sieve to obtain a fine and homogeneous powder. All materials were used without further chemical modification.

*Preparation of Adsorbents.* Kokshetau clay was obtained in its natural, raw form and subjected to purification by repeated washing with distilled water until the effluent reached a neutral pH ( $\sim 6$ ), ensuring the removal of soluble impurities and surface contaminants. The washed clay was subsequently dried in a muffle furnace at 60°C for 24 hours to eliminate residual moisture. Following thermal treatment, the dried material was ground and sieved through a 100  $\mu\text{m}$  mesh to obtain a homogeneous particle size distribution suitable for use in adsorption studies.

Activated carbon (AC) was synthesized from peanut shells via a two-stage process consisting of carbonization and physical activation. Initially, the peanut

shells were washed with distilled water to remove adhering particulates, air-dried, and then ground and sieved to achieve uniform particle size. The carbonization step was conducted in a tubular furnace at a temperature range of 400-600°C for 1-2 hours under a nitrogen atmosphere to produce char. The charred material was subsequently activated in the same furnace by exposing it to a continuous flow of carbon dioxide or steam at elevated temperatures (800-900°C), thereby enhancing pore development and surface area. The resulting activated carbon was thoroughly washed with distilled water to remove residual ash and then dried at ambient temperature prior to use.

*Experimental model.*

*Batch adsorption tests.* The adsorption isotherm experiments of Kokshetau clay were conducted using aqueous paracetamol solutions with initial concentrations of 10, 25, 50, 75, and 100 mg/L. The pH of the solutions was maintained at approximately 6, reflecting the natural pH without adjustment. A fixed adsorbent dosage of 2.5 g/L of Kokshetau clay was used for all tests. The adsorption processes were carried out at room temperature (approximately 20-25°C) with a contact time of 24 hours to ensure equilibrium was achieved.

Adsorption kinetic experiments of Kokshetau clay were carried out using an initial paracetamol concentration of 10 mg/L in a total solution volume of 100 mL. An adsorbent dosage of 2.5 g/L was employed, and the suspensions were agitated using a magnetic stirrer at constant room temperature for a total contact time of 6 hours. At predetermined time intervals, aliquots were withdrawn, and the solid-liquid separation was performed by filtration through 0.45 µm hydrophilic nylon syringe filters to remove particulate matter. The residual concentration of paracetamol in the filtrate was subsequently analyzed using high-performance liquid chromatography (HPLC).

Adsorption isotherm experiments done with initial concentrations of paracetamol: 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, and 400 mg/L. The pH of all solutions was maintained at approximately 6 (natural pH) without adjustment. An adsorbent dosage of 2.5 g/L was used consistently throughout the experiments. Tests were conducted at ambient room temperature (approximately 20-25°C), with a contact time of 24 hours to ensure equilibrium was reached.

The adsorption kinetics of paracetamol onto activated carbon derived from peanut shells was investigated using an initial paracetamol concentration of 100 mg/L in 100 mL of aqueous solution. The adsorbent dosage was fixed at 2.5 g/L. The suspension was continuously agitated using a magnetic shaker at ambient temperature for a total duration of 8 hours. At specified time intervals, samples were withdrawn and immediately filtered through 0.45 µm hydrophilic nylon syringe filters to separate the adsorbent particles. The residual concentration of paracetamol in the filtrates was determined using high-performance liquid chromatography (HPLC).

*Fixed bed column test.* Fixed-bed column experiments were conducted to evaluate the dynamic adsorption performance of a binary adsorbent system composed of activated carbon derived from peanut shells and raw Kokshetau clay. A total of 0.5 g of adsorbent was used, consisting of 0.4 g of activated carbon and 0.1 g of clay. The adsorbent mixture was packed into a glass column following a standard layering protocol: a bottom layer of glass wool, followed by a layer of glass beads, the adsorbent bed, and an upper layer of glass beads to ensure uniform flow distribution and minimize channeling. A paracetamol solution with an initial concentration of 50 mg/L and natural pH of 6.0 was continuously passed through the column using an HPLC pump at a constant flow rate of 1 mL/min. Effluent

samples were collected at regular intervals and analyzed for residual paracetamol concentration using HPLC.



Fig. 1. Adsorption isotherm tests of clay and activated carbon

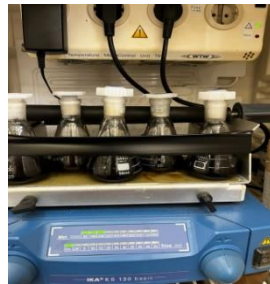


Fig. 2. Fixed Bed Column

#### Data analysis.

*Isotherm and Kinetic models.* The adsorption capacity of clay and activated carbon composites for paracetamol, expressed as the amount adsorbed per unit mass of adsorbent (mg/g), was evaluated, and the experimental data were fitted using non-linear forms of the pseudo-first-order, pseudo-second-order, and Elovich kinetic models, as represented by Equations (1)–(3), respectively.

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (1)$$

$$t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + t/q_e \quad (2)$$

$$q_t = 1/\beta \cdot \ln(1 + \alpha \beta t) \quad (3)$$

The adsorption kinetics of PCM onto AC was studied over a 480-minute contact period using an initial PCM concentration of 100 mg/L. The experimental data were fitted to the pseudo-first-order (PFO), pseudo-second-order (PSO), and Elovich kinetic models (Fig. 3). The PSO model provided the best correlation with the experimental data, suggesting that the rate-limiting step may be chemisorption involving valence forces through sharing or exchange of electrons between adsorbent and adsorbate. Rapid adsorption was observed within the first 90 minutes, followed by a slower phase approaching equilibrium, with a maximum uptake of ~39.4 mg/g.

The equilibrium adsorption data obtained from the isotherm experiments were analyzed using the non-linear forms of the Langmuir, Freundlich, and Temkin isotherm models. These models are represented by Equations (4), (5), and (6), respectively.

$$q_e = q_m \times K_L \times C_e / (1 + K_L \times C_e) \quad (4)$$

$$q_e = K_F \times C_e^{1/n} \quad (5)$$

$$q_e = B \cdot \ln(K_T \cdot P) \quad (6)$$

The adsorption isotherm of paracetamol (PCM) onto activated carbon (AC) derived from peanut shells was investigated by varying the initial PCM concentration from 10 to 400 mg/L at a fixed adsorbent dosage (2.5 g/L) and pH 6. The adsorption equilibrium data were fitted using nonlinear Langmuir, Freundlich, and Temkin models (Figure 4). Among the models, the Langmuir isotherm

exhibited the best fit, indicating monolayer adsorption onto a homogeneous surface. The maximum adsorption capacity ( $q_{max}$ ) was found to be approximately 232.1 mg/g. The high uptake at lower equilibrium concentrations ( $C_e < 10$  mg/L) and the plateauing trend at higher  $C_e$  values confirm the saturation of active adsorption sites.

*Breakthrough curves.* Effluent concentration versus time ( $C-t$ ) curves were analyzed to assess the performance of paracetamol removal under continuous flow conditions. The amounts of triclosan adsorbed at breakthrough ( $q_b$ ) and at saturation ( $q_s$ ), expressed in  $mg\ g^{-1}$ , were calculated using Equations (7) and (8), respectively:

$$q_b = (C_0 \times Q / 1000 \times m) \times \int_0^{t_b} (1 - C_b/C_0) \quad (7)$$

$$q_s = (C_0 \times Q / 1000 \times m) \times \int_0^{t_s} (1 - C_b/C_0) \quad (8)$$

where:  $C_0$  ( $mg\ L^{-1}$ ) – the initial paracetamol concentration;  $C_b$  ( $mg\ L^{-1}$ ) and  $C_s$  ( $mg\ L^{-1}$ ) – the effluent concentrations at breakthrough and saturation, respectively;  $Q$  ( $mL\ min^{-1}$ ) – the volumetric flow rate;  $m$  (g) – the mass of the CC/IO composite;  $t_b$  and  $t_s$  – the breakthrough and saturation times corresponding to  $C/C_0$  values of 0.1 and 0.9, respectively.

To further characterize the adsorption dynamics, the experimental data were also fitted to the non-linear form of the Yoon-Nelson model (Equation 9), which was selected for its simplicity and effectiveness in predicting breakthrough behavior and overall column performance.

$$C = C_0 / (1 + e^{TK-Kt}) \quad (9)$$

A fixed-bed column experiment was conducted using a composite adsorbent composed of 0.4 g AC from peanut shells and 0.1 g raw Kokshetau clay. The influent paracetamol concentration was maintained at 50 mg/L, and the column was operated at pH 6.0 with a flow rate of 1 mL/min. The effluent concentration remained below detection ( $C/C_0 \approx 0$ ) up to 600 minutes, indicating high adsorption efficiency. Breakthrough began around 720 minutes, and saturation occurred approximately at 1320–1440 minutes, as evidenced by the gradual rise in  $C/C_0$  up to  $\sim 0.93$ . The slight pH increase in the effluent (from 6.0 to 7.2) may be attributed to surface exchange reactions or dissolution of basic sites on the adsorbent. The breakthrough data were fitted using nonlinear Yon-Nelson model (Fig. 5).

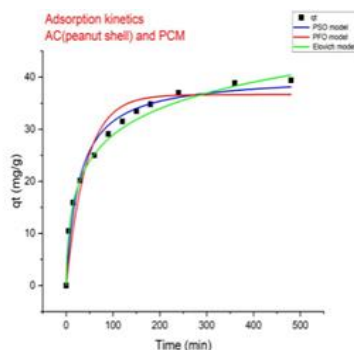


Fig. 3. PFO, PSO, Elovich kinetic models

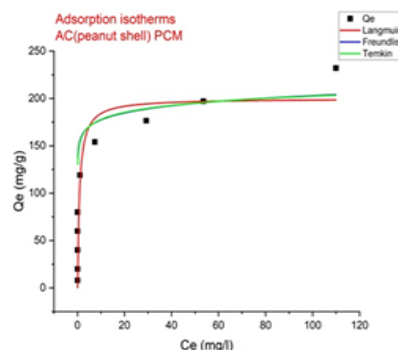


Fig. 4. Langmuir, Freundlich Temkin isotherm models

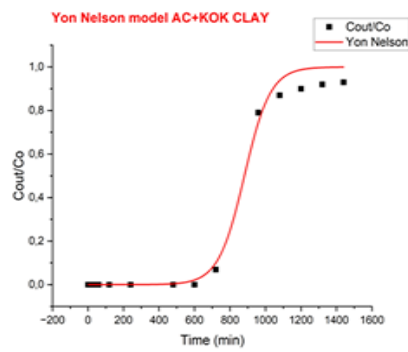


Fig. 5. Yon-Nelson model for fixed bed column

**Research results and discussion.** *Characterization of raw Kokshetau clay.* *X-ray Diffraction (XRD) Analysis.* The mineralogical composition of the raw Kokshetau clay was determined using X-ray diffraction (XRD). As shown in the diffractogram (Fig. 6), prominent reflections corresponding to muscovite, kaolinite, and quartz were identified. A notable peak at  $2\theta = 19.902^\circ$  indicates the presence of muscovite, which is further confirmed by additional reflections in the  $2\theta$  range of  $19.902-34.981^\circ$  (d-spacing  $4.457-2.376 \text{ \AA}$ ). Kaolinite was identified by peaks in the  $2\theta$  range of  $12.303-24.816^\circ$ , and quartz was detected between  $20.845-39.468^\circ$  (Table 1).

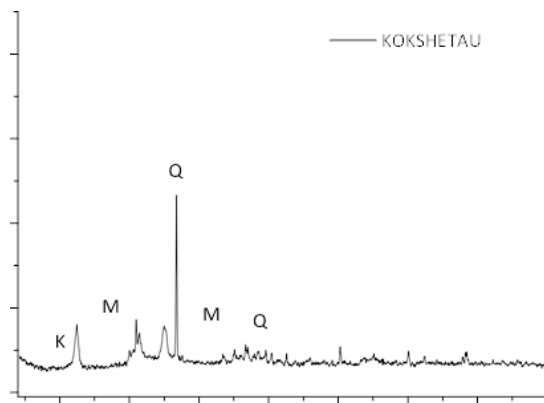


Fig. 6. XRD analysis of Kokshetau clay

Table 1

Reflections of the Kokshetau natural clays

No	Composition	deg. $2\theta$	d ( $\text{\AA}$ )
1	Kaolinite	12.303-24.816	7.188-3.584
2	Muscovite	19.902-34.981	4.457-2.376
3	Quartz	20.845-39.468	4.258-2.281

A semi-quantitative analysis based on the XRD spectra (Table 2) revealed that the Kokshetau clay is primarily composed of hydrated aluminum silicate, with muscovite constituting approximately 17.0%, and  $\text{SiO}_2$  making up 28.3%. Additional phases include quartz and minor feldspar and calcite, indicating a heterogeneous natural composition with notable levels of mineral impurities. The presence of these impurities varies depending on the geological origin of the clay.

Table 2

Chemical composition of the Kokshetau clay determined by semi quantitative analysis from the XRD spectra

Mineral	Kokshetau
Quartz, SiO <sub>2</sub>	28.3%
Calcite, CaCO <sub>3</sub>	
Muscovite, (K <sub>0.82</sub> Na <sub>0.18</sub> ) (Fe <sub>0.03</sub> Al <sub>1.97</sub> ) (AlSi <sub>3</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	17%
Albite endmember feldspar, Na(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	1.6%
Hydrated aluminum silicate, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •4SiO <sub>2</sub> •xH <sub>2</sub> O	0%
Kaolinite, Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	53.1%
Microcline feldspar, KSi <sub>3</sub> AlO <sub>8</sub>	0%

*Elemental Composition.* The chemical composition of the raw Kokshetau clay was further analyzed using energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) via an Inca Energy system (Table 3). The elemental analysis confirmed the presence of major constituents such as Al, Si, and O, consistent with aluminosilicate minerals. Trace elements including Na, Ca, and Fe were also detected, supporting the identification of muscovite and minor feldspar phases. The composition aligns well with the XRD findings and affirms the multi-phase nature of the natural clay.

Table 3

Chemical composition of the natural clays, determined by elemental analysis

Natural clay	Mass of the element (%)									
	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe
Kokshetau	54.71	*n.i.	0.15	13.4	19.17	0.28	0.21	1.43	n.i.*	10.66

\*n.i. = not identified

*Morphological Analysis (SEM and TEM).* The surface morphology and microstructure of the raw Kokshetau clay were examined by scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM) (Fig. 7 and 8). SEM images reveal a heterogeneous, layered morphology with irregular particle shapes and varying porosity, characteristic of natural clays. TEM analysis provided further insight into the particle arrangement at the nanoscale, showing layered silicate structures with interlamellar spacing, typical of muscovite and kaolinite clays. The porous and flaky texture is favorable for adsorption, offering a range of micro- and mesopores accessible to pollutant molecules.

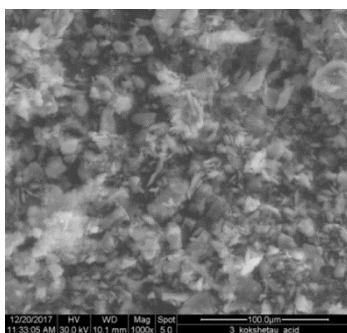


Fig. 7. SEM micrograph of Kokshetau clay

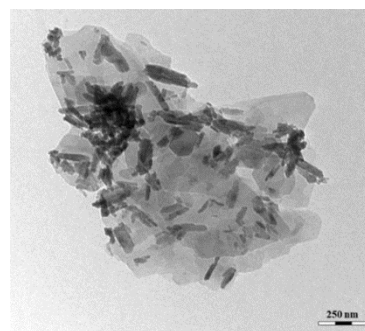


Fig. 8. TEM micrograph of Kokshetau clay

**Conclusion.** This study demonstrated the effective use of raw Kokshetau clay and activated carbon derived from peanut shells (AC-PS) as low-cost and environmentally friendly adsorbents for the removal of paracetamol (PCM) from aqueous solutions. Comprehensive characterization of the raw clay confirmed the presence of muscovite, kaolinite, and quartz, as well as a heterogeneous composition with layered morphology and microporous texture, which supports its adsorption capabilities.

Batch adsorption experiments revealed that AC-PS exhibited significantly higher adsorption capacity compared to raw clay, reaching a maximum of 232.06 mg/g. The adsorption equilibrium data fitted well with the Langmuir isotherm model, indicating monolayer adsorption on a homogeneous surface. Kinetic studies showed that the pseudo-second-order (PSO) model best described the adsorption process for both materials, suggesting chemisorption as the rate-limiting step.

The fixed-bed column experiments using a mixture of AC-PS and Kokshetau clay (4:1) further confirmed the high removal efficiency under dynamic flow conditions, with near-complete removal of PCM in the early stages of operation. These results demonstrate the potential of combining natural clay with low-cost biochar to design efficient and sustainable adsorption systems.

In conclusion, the synergistic use of natural clays and bio-derived activated carbon offers a promising approach for developing low-cost and efficient adsorbents for wastewater treatment applications, particularly for the removal of pharmaceutical contaminants like paracetamol.

#### References

1. Shekhawat H., Kumari A., Raol H., Choudhury T. Preparation and characterization of clay hybrid adsorbents for the removal of paracetamol from model wastewater: A comparative study // *Applied Clay Science*. – 2024.
2. Akpomie K., Conradie J. Efficient adsorptive removal of paracetamol and thiazolyl blue from polluted water onto biosynthesized copper oxide nanoparticles // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13.
3. Sajid M., Bari S., Rehman S., Ashfaq M., Guoliang Y., Mustafa G. Adsorption characteristics of paracetamol removal onto activated carbon prepared from *Cannabis sativum* Hemp // *Alexandria Engineering Journal*. – 2022.
4. Al-Howri B., Azha S., Shamsudin M., Hamid N., Alsobaai A., Ismail S. Paracetamol in diverse water sources: health hazards and treatment efficacy emphasizing adsorption techniques—a review // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2024.
5. Islam M., Nazal M., Sajid M., Suliman M. Adsorptive removal of paracetamol from aqueous media: A comprehensive review of adsorbent materials, adsorption mechanisms, recent advancements, and future perspectives // *Journal of Molecular Liquids*. – 2024.
6. Alakayleh Z. Sulfuric acid-activated carbon from guava leaves for paracetamol adsorption // *Results in Engineering*. – 2024.
7. Quesada H., Baptista A., Cusioli L., Seibert D., De Oliveira Bezerra C., Bergamasco R. Surface water pollution by pharmaceuticals and an alternative of removal by low-cost adsorbents: A review // *Chemosphere*. – 2019. – Vol. 222. – P. 766-780.
8. Allaoui I., Mourabit M., Arfoyl B., Hadri M., Barhoun A., Draoui K. Adsorption equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies on the removal of paracetamol from wastewater using natural and HDTMA-modified clay // *Desalination and Water Treatment*. – 2024.
9. Azri N., Chebbi R., Ouakouak A., Hecini L., Isinkaralar K., Fadel A., Bokov D., Prakash C., Hosseini-Bandegharai A. Single and binary adsorption of paracetamol

- and diclofenac onto biochar produced from pepper stem: Which adsorption properties change in the binary system? // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2024.
10. Vinayagam V., Murugan S., Kumaresan R., Narayanan M., Sillanpää M., Vo D., Kushwaha O., Jenis P., Potdar P., Gadiya S. Sustainable adsorbents for the removal of pharmaceuticals from wastewater: A review // *Chemosphere*. – 2022. – P. Article 134597.

*This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24992867).*

*Received: 29 August 2025*

*Accepted: 19 September 2025*

**Е.Қ. Реимбаев<sup>1</sup>, Ұ.Ғ. Қанатбек<sup>1</sup>, А.А. Күртебаева<sup>1</sup>,  
С.А. Орынбаев<sup>1</sup>, Т.Г. Helder<sup>2</sup>, М.С. Қалмаханова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан*

<sup>2</sup>*Браганса политехникалық институты, Браганса қ., Португалия*

#### **ТАБИҒИ САЗ ЖӘНЕ БИО-НЕГІЗДЕГІ АКТИВТЕЛГЕН КӨМІРДІ ДӘРІЛІК ҚАЛДЫҚ – ПАРАЦЕТАМОЛДЫ АҒЫН СУЛАРДАН АДСОРБЦИЯЛЫҚ ӘДІСПЕН ЖОЮҒА ҚОЛДАНУ**

**Аңдатпа.** Фармацевтикалық қалдықтар, әсіресе парацетамол, өздерінің кеңінен қолданылуына және дәстүрлі ағын суларды тазарту әдістерінің оларды толық жоя алмауына байланысты су ортасында тұрақты ластаушылар ретінде қарастырылуда. Бұл зерттеуде парацетамолды су ерітінділерінен жою мақсатында төмен бағалы және экологиялық таза екі адсорбенттің – Көкшетау табиғи сазы мен жержаңғақ қабығынан алынған активтелген көмірдің – тиімділігі зерттелді. Адсорбенттердің беткі қасиеттері мен құрылымдық ерекшеліктерін анықтау үшін XRD, SEM, TEM және элементтік анализдер жүргізілді. Параметрлер ретінде рН, байланыс уақыты және бастапқы концентрацияны өзгерте отырып, сериялы адсорбциялық тәжірибелер жасалды, ал үздіксіз тазарту жағдайларын имитациялау үшін колонналық сынақтар жүргізілді. Адсорбция деректері изотермалық және кинетикалық модельдерге сәйкестендірілді, нәтижесінде сәйкесінше Лэнгмюр мен жалған екінші ретті модельдер жақсы сәйкестік көрсетті. Колонна жұмысы Томас және Юн-Нельсон модельдері арқылы бағаланды. Нәтижелер екі материалдың да парацетамолды тиімді жоятындығын, алайда активтелген көмірдің жоғары өнімділік көрсеткенін көрсетті. Бұл зерттеу көрсеткендей, аталған материалдар фармацевтикалық ластаушыларды жою үшін экологиялық қауіпсіз және тиімді адсорбенттер ретінде қолданылуға перспективалы.

**Тірек сөздер:** парацетамол, Көкшетау балшығы, активтендірілген көмір, жержаңғақ қабығы, фармацевтика, адсорбция, су тазарту.

Е.Қ. Реимбаев<sup>1</sup>, Ұ.Ғ. Қанатбек<sup>1</sup>, А.А. Куртебаева<sup>1</sup>,  
С.А. Орынбаев<sup>1</sup>, Т.Г. Helder<sup>2</sup>, М.С. Қалмаханова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Таразский университет им.М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

<sup>2</sup>Политехнический институт Брагансы, г. Браганса, Португалия


**ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ ГЛИНЫ И АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ  
БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ АДСОРБЦИОННОГО  
УДАЛЕНИЯ ПАРАЦЕТАМОЛА ИЗ СТОЧНЫХ ВОД**

**Аннотация.** Фармацевтические остатки, в частности парацетамол, становятся устойчивыми загрязнителями водной среды из-за их широкого применения и неполного удаления традиционными методами очистки сточных вод. В данном исследовании рассматривается потенциал двух недорогих и экологически безопасных адсорбентов – природной глины из Кокшетау и активированного угля, полученного из арахисовой шелухи – для удаления парацетамола из водных растворов. Адсорбенты были охарактеризованы с использованием методов XRD, SEM, TEM и элементного анализа с целью определения их поверхностных свойств и структурных характеристик. Пакетные адсорбционные эксперименты были проведены для оценки влияния pH, времени контакта и начальной концентрации, а также реализованы колонные исследования для имитации непрерывных условий очистки. Полученные данные были сопоставлены с изотермами и кинетическими моделями, причем наилучшее соответствие показали модели Лэнгмюра и псевдo-второго порядка соответственно. Эффективность колонн оценивалась с помощью моделей Томаса и Юн-Нельсона. Результаты показали высокую эффективность удаления парацетамола обоими материалами, при этом активированный уголь продемонстрировал более высокие показатели. Эти выводы подчеркивают потенциал указанных адсорбентов в качестве экологически безопасных и эффективных материалов для удаления фармацевтических загрязнителей в системах водоочистки.



**Ключевые слова:** парацетамол, кокшетауская глина, активированный уголь, арахисовая шелуха, фармацевтика, адсорбция, очистка воды.

МРНТИ 61.31.40 : 70.25.17

**Х.Р. Садиева<sup>1</sup> – основной автор,** Ш.М. Умбетова<sup>2</sup>, Д.Ж. Ниязова<sup>3</sup>,  
М.С. Зарбалиев<sup>4</sup>, М.Б. Копен<sup>5</sup> | ©

 <sup>1</sup>Канд. техн. наук, ассоц. профессор, <sup>2</sup>Канд. техн. наук, <sup>3,5</sup>Докторант,  
<sup>4</sup>Канд. техн. наук, доцент

ORCID <sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8925-8053> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-7716-9822>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-2698-1209> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-4699-1335>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-9982-0428>

 <sup>1</sup>Таразский университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан  
<sup>2,3,5</sup>Кызылординский университет им. Коркыт Ата, г. Кызылорда, Казахстан  
 <sup>4</sup>Азербайджанский архитектурно-строительный университет,  
г.Баку, Азербайджанская Республика

@ <sup>2</sup>[umbetova-37@mail.ru](mailto:umbetova-37@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/ISZI7451>

## СИНТЕЗ ПОЛИМЕРНЫХ УГЛЕРОДНЫХ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩИХ НАНОСОРБЕНТОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ИОНОВ Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> И Al<sup>3+</sup> ИЗ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД

**Аннотация.** В статье рассматриваются бактерицидные свойства ионов серебра и представлен обзор литературы по данной теме. В ходе эксперимента были синтезированы полимерные углеродные серебросодержащие наносорбенты путем взаимодействия раствора ионов серебра с порошком яичной скорлупы. Полученные сорбенты использовались для очистки городских сточных вод от ионов тяжелых металлов (Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> и Al<sup>3+</sup>). Проведенные лабораторные испытания подтвердили их высокую сорбционную способность, устойчивость к агрессивным средам и возможность многократного применения.

**Ключевые слова:** углеродные нанотрубки, серебросодержащие наносорбенты, сточные воды, ионы металлов, водоочистка, полимерные материалы.



*Садиева, Х.Р. Синтез полимерных углеродных серебросодержащих наносорбентов для удаления ионов Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> и Al<sup>3+</sup> из загрязненных вод [Текст] / Х.Р. Садиева, Ш.М. Умбетова, Д.Ж. Ниязова, М.С. Зарбалиев, М.Б. Копен //Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.138-145.  
<https://doi.org/10.55956/ISZI7451>*

**Введение.** Проблема загрязнения водоемов тяжелыми металлами остается одной из наиболее актуальных экологических задач. Ионы железа (Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>), марганца (Mn<sup>2+</sup>), меди (Cu<sup>2+</sup>) и алюминия (Al<sup>3+</sup>), попадая в водную среду, оказывают токсическое воздействие на живые организмы и нарушают биологическое равновесие. В связи с этим возрастает интерес к разработке эффективных и экологически безопасных методов очистки сточных вод.

Одним из перспективных направлений является использование наноразмерных сорбентов, обладающих высокой удельной поверхностью и активными центрами сорбции. Особенно эффективными в этом контексте являются углеродные наноматериалы, такие как углеродные нанотрубки

(УНТ), графен и углеродные точки, которые могут быть модифицированы различными функциональными группами и металлами [1-5].

Серебро, обладающее выраженными антимикробными и каталитическими свойствами, активно используется в составе нанокomпозитов. Введение ионов  $Ag^+$  в структуру углеродных носителей позволяет не только повысить сорбционную активность, но и обеспечить дополнительный эффект обеззараживания воды [6-11]. Коллоидные и кластерные формы серебра демонстрируют высокую стабильность и эффективность в различных pH-средах, что делает их особенно привлекательными для применения в водоочистных технологиях.

Синтез полимерных углеродных серебросодержащих наносорбентов представляет собой многоэтапный процесс, включающий формирование полимерной матрицы, введение углеродных наноструктур и закрепление серебра в виде наночастиц или ионов. Такие материалы обладают высокой механической прочностью, химической стойкостью и возможностью многократного использования [2].

Ранее проведенные исследования показали, что подобные сорбенты эффективно удаляют ионы тяжелых металлов из водных растворов, достигая степени очистки до 90-95% в зависимости от условий синтеза и состава сорбента [2]. Однако остаются открытыми вопросы, связанные с оптимизацией структуры, стабильностью нанокomпозитов и влиянием различных факторов среды на эффективность сорбции.

Настоящее исследование направлено на синтез и изучение свойств полимерных углеродных серебросодержащих наносорбентов, предназначенных для удаления ионов  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  и  $Al^{3+}$  из загрязненных вод. Особое внимание уделяется выбору природных и доступных компонентов, таких как яичная скорлупа, а также оценке сорбционной эффективности полученных материалов в лабораторных условиях.

**Условия и методы исследования.** В качестве исходного сырья для получения серебросодержащих наносорбентов использовался природный материал – измельченная яичная скорлупа. Синтез наночастиц серебра осуществлялся путем пропитывания скорлупы раствором нитрата серебра с последующим восстановлением с использованием тетрагидробората натрия ( $NaBH_4$ ). Последний был выбран в качестве восстановителя благодаря своей высокой восстановительной способности и простоте применения, что делает его более предпочтительным по сравнению с цитрат-ионами. Как и в цитратном методе,  $NaBH_4$  выполняет двойную функцию – восстановителя и стабилизатора наночастиц.

Механизм роста наночастиц серебра был рассмотрен с позиций модели Ла Мера-Дайнегера, согласно которой нуклеация происходит за короткий промежуток времени, а дальнейший рост частиц определяется поверхностными окислительно-восстановительными процессами с участием ионов  $Ag^+$  [5]. Особое внимание было уделено взаимодействию коллоидных наночастиц серебра с цистеинсодержащими аминокислотами, входящими в состав яичной скорлупы. Установлено, что при этом происходит комплексообразование между ионами серебра и сульфгидрильными группами аминокислот.

Согласно литературным данным [1-3], тиолсодержащие соединения, в частности биотиолы, обладают высокой реакционной способностью благодаря наличию SH-групп, источником которых чаще всего является

аминокислота цистеин. Эти соединения легко вступают в реакции окисления, алкилирования и образования меркаптидов, а также способны к обратимому ингибированию и реактивации в присутствии слабых окислителей, включая ионы серебра. Комплексообразование с участием  $\text{Ag}^+$  способствует стабилизации наночастиц и повышению их биологической активности.

Для изучения процессов комплексообразования серебра с цистеином были применены химические и ИК-спектроскопические методы. Синтез координационных соединений осуществлялся через промежуточное образование оксида серебра ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ) в диапазоне pH 7-9, где преобладают устойчивые комплексные формы.

Растворы координационных соединений готовились путем смешивания рассчитанных количеств растворов нитрата серебра, тетрабората натрия и порошкообразной яичной скорлупы. Смесь выдерживалась при температуре  $60^\circ\text{C}$  в течение 30 минут, после чего осадок фильтровался, сушился и прессовался в таблетки диаметром  $1\text{ см}^2$ .

Для получения углеродных серебросодержащих наносорбентов использовалась установка для выращивания углеродных нанотрубок «CN-CVD-100» производства компании ULVAC JAPAN Ltd.. Устройство включает три основные системы: камеру выращивания (внутренний диаметр 55 мм, длина 240 мм), вакуумную систему (производительность 100 л/мин) и систему подачи газов (метан, водород, азот). Исследуемые образцы размещались на металлической подложке диаметром 25 мм.

Процесс синтеза нанотрубок осуществлялся при температуре  $600^\circ\text{C}$  в атмосфере метана (260-280 кПа) и водорода (210-220 кПа) в течение 5-15 минут. В результате термического разложения метана происходило осаждение свободного углерода на поверхность образца, что способствовало формированию углеродных нанотрубок. Изменение цвета таблеток на черный указывало на успешное протекание процесса.

После завершения синтеза образцы охлаждались, и проводился анализ их состава. В полученных таблетках были идентифицированы оксиды серебра, натрия, кальция, а также углерод в форме нанотрубок. Химический состав и микроструктура исследовались с использованием растрового электронного микроскопа и рентгенофазового анализа [6].

Растровая электронная микроскопия проводилась в условиях высокого вакуума ( $10^{-5}$  торр), что необходимо для стабильной фокусировки электронного пучка. Дополнительно содержание серебра в наночастицах определялось дитизонным методом, основанным на образовании окрашенного комплекса серебра с дитизоном в присутствии  $\text{CCl}_4$  при pH 1,5-2,0. Метод обладает высокой чувствительностью и позволяет определять концентрации до  $1\text{ мг/дм}^3$  в объеме  $200\text{ см}^3$  [7,8].

**Результаты исследований.** Количественное определение содержания серебра (X) в растворе, выраженное в  $\text{мг/дм}^3$ , проводилось по следующей формуле:

$$X = a \cdot 1000V \cdot 1000X = V \cdot 1000a \cdot 1000 \quad (1)$$

где:  $a$  – объем раствора серебра, использованного в исследовании (мл);  $V$  – объем раствора Трилон Б, израсходованного на титрование (мл).

На основе экспериментальных данных была рассчитана массовая доля наночастиц серебра, содержащихся как в твердой, так и в жидкой фазах. Результаты приведены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1

Массовая доля наночастиц серебра в твердой и жидкой фазах

№	Концентрация раствора Ag (мг/дм <sup>3</sup> )	Содержание Ag в твердой фазе (%)	Концентрация раствора Ag (мг/дм <sup>3</sup> )	Содержание Ag в жидкой фазе (%)
1	0,01	0,16	0,01	0,14
2	0,02	0,15	0,02	0,17
3	0,03	0,19	0,03	0,2
4	0,04	0,25	0,04	0,22
5	0,05	0,17	0,05	0,11
6	0,06	0,13	0,06	0,07
7	0,07	0,11	0,07	0,23

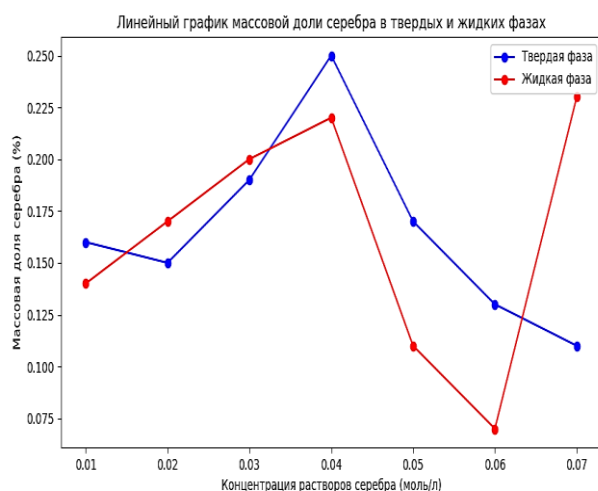


Рис.1. Массовая доля наночастиц серебра в твердой и жидкой фазах

Как видно из таблицы и рисунка, массовая доля серебра варьируется в зависимости от концентрации раствора и фазы, в которой оно содержится. Эти данные позволяют оценить эффективность сорбции серебра и его распределение между фазами. Для более глубокого анализа на рисунке 2 приведено отражение рентгенофазных спектров полимерных углеродных серебросодержащих наночастиц.

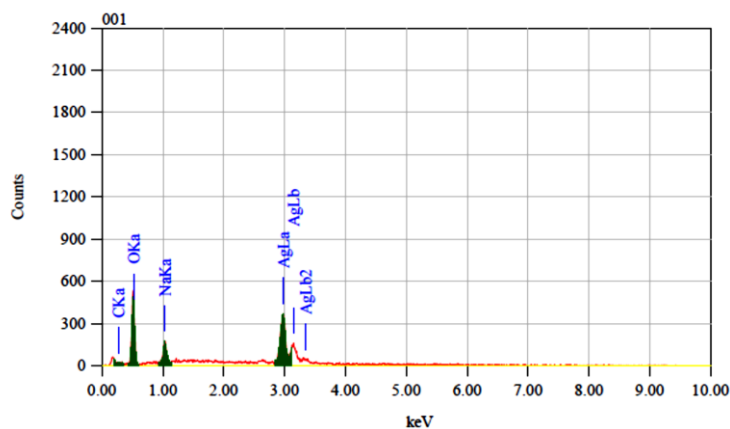


Рис.2. Рентгенофазный спектр полимерных углеродных серебросодержащих наночастиц

Как видно из рисунка 2 структура исходных полимерных серебросодержащих наночастиц изменялась при адсорбции углерода на полимерных серебросодержащих наночастицах при температуре 600°C и давлении 280 кПа в углеродных нанотрубках по методу «CN-CVD-100». Синтезированные серебряные наночастицы были заложены в полимерные основы. В этом исследовании в качестве полимерной основы использовалась цистеинсодержащие аминокислоты яичной скорлупы. После исследования в углеродной нанотрубке, данные наночастицы были исследованы ИК спектроскопическим методом.

На рисунке 3 показано изменение нитрата серебра до оксида серебра ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ) с интенсивностью  $1795 \text{ см}^{-1}$ , а также изменение тетрагидробората натрия до оксида натрия ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) с интенсивностью  $2146 \text{ см}^{-1}$ , изменение карбоната кальция до оксида кальция ( $\text{CaO}$ ) показано с интенсивностью  $2285 \text{ см}^{-1}$ ,  $1957 \text{ см}^{-1}$ ,  $2046 \text{ см}^{-1}$ ,  $2345 \text{ см}^{-1}$  [6,7].

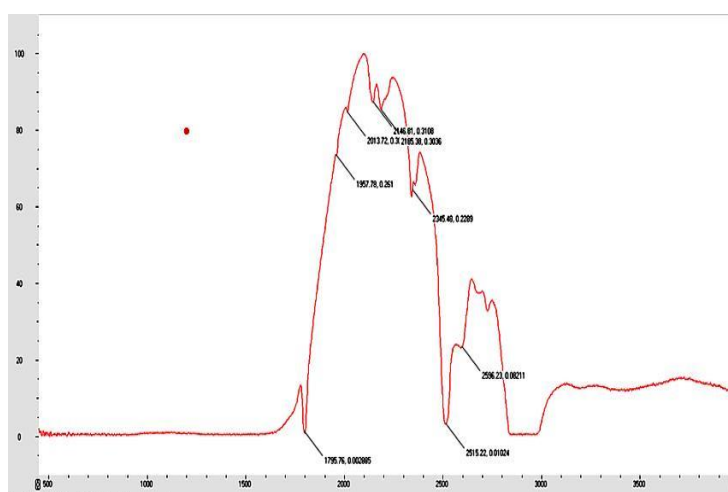


Рис. 3. ИК-спектроскопическое изображение серебросодержащих наночастицы

**Обсуждение научных результатов.** Полимерные углеродные серебросодержащие нанотрубки представляют собой высокоактивные наносорбенты. Полученные материалы могут эффективно использоваться в качестве фильтрующих элементов для очистки загрязненной воды [9-12]. В таблице 2 приведен сравнительный график массовых концентраций алюминия, меди и марганца.

Таблица 2

Анализ изменения концентраций алюминия, меди и марганца на этапах фильтрации

Этапы фильтрации	Алюминий, мг/дм <sup>3</sup>	Медь, мг/дм <sup>3</sup>	Марганец, мг/дм <sup>3</sup>
До фильтрования	4,512	1,554	0,005
1	2,159	0,309	0,004
2	2,673	0,531	0,004
3	5,349	0,312	0,002
4	0,562	0,474	0,003

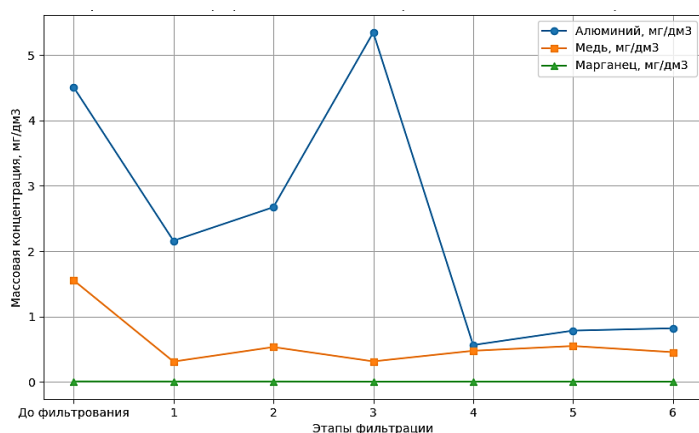


Рис. 4. Сравнительный график массовых концентраций алюминия, меди и марганца

На графике показаны массовые концентрации алюминия, меди и марганца на различных этапах фильтрации. Синие кружки представляют концентрацию алюминия, зеленые квадраты – меди, а красные треугольники – марганца.

График, отражающий динамику концентраций ионов алюминия, меди и марганца на различных этапах фильтрации, позволяет проследить эффективность работы сорбента и выявить особенности поведения каждого элемента в процессе очистки.

До начала фильтрации наблюдается наибольшее содержание алюминия –  $4.512 \text{ мг/дм}^3$ , что значительно превышает концентрации меди ( $1.554 \text{ мг/дм}^3$ ) и марганца ( $0.005 \text{ мг/дм}^3$ ). Это указывает на доминирующее присутствие алюминия в исходной загрязненной воде.

На первом этапе фильтрации концентрация алюминия снижается до  $2.159 \text{ мг/дм}^3$ , что свидетельствует о частичном удалении. Медь также демонстрирует заметное снижение – до  $0.309 \text{ мг/дм}^3$ . Концентрация марганца остается практически неизменной ( $0.004 \text{ мг/дм}^3$ ), что может указывать на слабое взаимодействие с сорбентом на данном этапе.

На втором этапе наблюдается незначительное увеличение концентрации алюминия до  $2.673 \text{ мг/дм}^3$  и меди до  $0.531 \text{ мг/дм}^3$ , что может быть связано с десорбцией или перераспределением ионов в системе. Концентрация марганца остается стабильной.

Третий этап характеризуется резким ростом содержания алюминия до  $5.349 \text{ мг/дм}^3$ , что, вероятно, связано с насыщением сорбента или его частичной деградацией. Концентрации меди и марганца при этом остаются на уровне  $0.312 \text{ мг/дм}^3$  и  $0.002 \text{ мг/дм}^3$  соответственно.

На четвертом этапе происходит значительное снижение концентрации всех трех элементов: алюминий – до  $0.562 \text{ мг/дм}^3$ , медь – до  $0.474 \text{ мг/дм}^3$ , марганец – до  $0.003 \text{ мг/дм}^3$ . Это может свидетельствовать о восстановлении сорбционной активности материала или изменении условий фильтрации.

**Заключение.** Полученные данные демонстрируют, что сорбент проявляет наибольшую эффективность на первом и четвертом этапах фильтрации. Алюминий, как наиболее подвижный элемент, показывает наибольшие колебания концентрации, в то время как марганец остается на низком уровне на протяжении всего процесса. Это подчеркивает необходимость дальнейшей оптимизации условий фильтрации и структуры

сорбента для повышения стабильности и селективности удаления различных ионов.

#### Список литературы

1. Syaole C., Kely C., Inhao. Properties, Applications And Methods Of Nanosilver Preparation // International Students' Scientific Newsletter. – 2018. – No. 6.
2. Radzhabov U.R., Shuhrazoda M., Yermamodova S.G., Kozizonov A.U. Coordination compound of silver (I) with metrotazil // Inorganic Chemistry Journal, Abuali Ibn Sino Tadjik State Medical University. – 2018. – Vol. 61. – No. 2. – P. 176-180.
3. Sabad-e-Gul S., Waheed S., Ahmad A., Khan S.M., Hussain M., Jamil T., Zuber M. Synthesis, characterization and permeation performance of cellulose acetate/polyethylene glycol-600 membranes loaded with silver particles for ultra low pressure reverse osmosis // J. Taiwan Inst. Chem. Eng. – 2015. – Vol. 57. – P. 129-138.
4. Nannelli K.G., Smith J.A., Smith M.U., Sami A. A new method of application of colloidal silver in ceramic water filters // World Environmental and Water Resources Engineering Congress, West Palm Beach, Florida, USA. – 2016.
5. El-Din L.A.N., El-Gendi A., Ismail N., Abed K.A., Ahmed A.I. Evaluation of cellulose acetate membrane with carbon nanotubes additives // J. Ind. Eng. Chem. – 2015. – Vol. 26. – P. 259-264.
6. Sadieva K.R., Sharshenalieva G.A., Iskakova A.A., Dzhumabekova G.B., Baltabayeva D.G. Absorbed intestinal research with carbon nanotubes, provided by vapor method on the installation CN-CVD-100 // Mechanics and Technologies. – 2017. – № 4. – P. 53-58.
7. Praveena S.M., Aris A.Z. Application of low-cost materials coated with silver nanoparticles as water filter in Escherichia coli removal // Water Qual. Expo. Health. – 2015. – Vol. 7. – P. 617-625.
8. Lin S., Chen L., Huang L., Cao S., Luo X., Liu K. Novel antimicrobial chitosan–cellulose composite films bioconjugated with silver nanoparticles // Ind. Crops Prod. – 2015. – Vol. 70. – P. 395-403.
9. Tikhonov N.I. et al. EPR-issledovanie formirovaniya serebrosoderzhashchikh nanokompositov pri termolize soli poliakrilonitrila [EPR study of formation of silver-containing nanocomposites during thermolysis of polyacrylonitrile salt] // High Molecular Compounds. Series B. – 2021. – Vol. 63. – № 2. – P. 152-158. [in Russian].
10. RF Patent No.2502680. Spособ ochistki vody i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya. – Primenenie uglorodnykh nanotrubok i grafenov v fil'truyushchikh materialakh [Method of water purification and device for its implementation. – Application of carbon nanotubes and graphene in filtering materials]. – [?]. [in Russian].
11. Aistova A.A., Gol'neva P.A., Kon'kova T.V., Stoyanova A.D. Issledovanie uglorodnykh nanomaterialov dlya ochistki stochnykh vod ot organicheskikh krasiteley [Study of carbon nanomaterials for wastewater treatment from organic dyes] // Advances in Chemistry and Chemical Technology. – 2021. – Vol. 35. – No. 6. – P. 7-10. [in Russian].
12. Thesis TPU-2024-40. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://appliedresearch.ru/ru/article/view?id=12139>.

*Исследования выполнены в рамках проекта BR21882415 «Разработка технологии безопасной утилизации сточных вод для полива кормовых культур и древесных насаждений в условиях дефицита воды в Кызылординской области», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 27.08.25, принят 20.09.25.*

Х.Р. Садиева<sup>1</sup>, Ш.М. Умбетова<sup>2</sup>, Д.Ж. Ниязова<sup>2</sup>, М.С. Зарбадиев<sup>3</sup>, М.Б. Көпен<sup>2</sup>

<sup>1</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Әзербайжан сәулет-құрылыс университеті, Баку қ., Әзербайжан Республикасы

**Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> ЖӘНЕ Al<sup>3+</sup> ИОНДАРЫН ЛАСТАНҒАН СУЛАРДАН  
ЖОЮҒА АРНАЛҒАН ПОЛИМЕРЛІ КӨМІРТЕКТІ КҮМІСҚҰРАМДЫ  
НАНОСОРБЕНТТЕРДІ СИНТЕЗДЕУ**

**Аңдатпа.** Мақалада күміс иондарының бактерицидтік қасиеттері қарастырылып, осы тақырып бойынша әдеби шолу ұсынылған. Эксперимент барысында күміс иондары ерітіндісінің жұмыртқа қабығы ұнтағымен әрекеттесуі арқылы полимерлі көміртекті күмісқұрамды наносорбенттер синтезделді. Алынған сорбенттер ауыр металл иондарынан (Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> және Al<sup>3+</sup>) қалалық ағын суларды тазартуға қолданылды. Зертханалық сынақтар олардың жоғары сорбциялық қабілетін, агрессивті ортаға төзімділігін және бірнеше рет қолдануға болатынын растады.

**Тірек сөздер:** көміртекті нанотүтікшелер, күмісқұрамды наносорбенттер, ағын сулар, металл иондары, су тазарту, полимерлі материалдар.

Kh.R. Sadiyeva<sup>1</sup>, Sh.M. Umbetova<sup>2</sup>, D.Zh. Niyazova<sup>2</sup>, M.S. Zarbaliev<sup>3</sup>, M.B. Kopen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

<sup>2</sup>Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

<sup>3</sup>Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Republic of Azerbaijan

**SYNTHESIS OF POLYMERIC CARBON-BASED SILVER-CONTAINING NANOSORBENTS FOR  
THE REMOVAL OF Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> AND Al<sup>3+</sup> IONS FROM CONTAMINATED WATER**

**Abstract.** This article discusses the bactericidal properties of silver ions and provides a literature review on the topic. During the experiment, polymeric carbon-based silver-containing nanosorbents were synthesized by reacting a silver ion solution with eggshell powder. The resulting sorbents were used to treat municipal wastewater contaminated with heavy metal ions (Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, and Al<sup>3+</sup>). Laboratory tests confirmed their high sorption capacity, resistance to aggressive environments, and reusability.

**Keywords:** carbon nanotubes, silver-containing nanosorbents, wastewater, metal ions, water purification, polymeric materials.

IRSTI 61.01.90

**A. Azimov**<sup>1</sup> – main author, | ©  
**A.A. Bolysbek**<sup>2</sup>, **G.M. Iztleuov**<sup>3</sup><sup>1</sup>Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <sup>2</sup>Phd, Associate Professor,  
<sup>3</sup>Candidate of Technical Sciences, Professor

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1316-5854> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-8708-2608>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-5722-342X><sup>1</sup>Department Chemical Technology of Inorganic Substances, M. Auezov South  
Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan<sup>2</sup>Research Laboratory of Innovative Water Purification Systems, M. Auezov South  
Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan<sup>3</sup>Department of Ecology, M. Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Kazakhstan

@

<sup>3</sup>[gani5@mail.ru](mailto:gani5@mail.ru)<https://doi.org/10.55956/XXTR7517>

## DEVELOPMENT OF CHEMICAL TECHNOLOGIES FOR NEW BIODEGRADABLE HYDROGELS BASED ON CHITOSAN

**Abstract.** The primary objective of this study was to develop novel biodegradable hydrogels based on chitosan and alginate with controlled moisture-release properties for smart packaging applications. The research comprehensively investigated the physicochemical properties of the hydrogels, including their mechanical strength, biodegradability, and effects on the shelf life of model products (carrots and ascorbic acid tablets). The hydrogels were synthesized using chitosan, sodium alginate, glutaraldehyde, and calcium chloride. Experimental methods encompassed swelling degree determination, mechanical property analysis, biodegradability assessment, and the evaluation of the hydrogels' effects on product moisture content, color stability, and microbial contamination. Key findings revealed the exceptional swelling capacity of chitosan-alginate hydrogels (1500% in distilled water), making them highly effective for moisture regulation. The mechanical properties were found to be equally impressive, with a tensile strength of 1.2 MPa and an elongation at break of 180%. Biodegradability reached 70% after 28 days, confirming their environmental compatibility. The hydrogels maintained carrot moisture at 68% after 28 days, limited color change ( $\Delta E=14.2$ ), and reduced microbial contamination to  $10^5$  CFU/g. In pharmaceutical applications, the hydrogels preserved 84% of ascorbic acid content in tablets over the same period. Future research directions include optimizing hydrogel composition to enhance mechanical strength and biodegradability and conducting real-world storage condition trials. It is also necessary to develop modified hydrogel variants with additional functionalities, such as antimicrobial protection and controlled release of active compounds. These advancements will broaden the hydrogels' application potential across food processing, agriculture, and pharmaceutical industries.

**Keywords:** biodegradable hydrogels, chitosan, alginate, controlled moisture release, environmentally friendly materials.



Azimov A., Bolysbek A.A., Iztleuov G.M. Development of chemical technologies for new biodegradable hydrogels based on chitosan //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2025. – No.3(89). – P.146-158. <https://doi.org/10.55956/XXTR7517>

**Introduction.** Biodegradable hydrogels based on natural polymers like chitosan and alginate offer a promising solution to this problem. These materials degrade under natural conditions and can be employed to develop smart packaging systems that regulate moisture and extend product shelf life [1-3]. Furthermore, hydrogels can be modified to perform specific functions, such as antimicrobial protection or controlled release of active compounds. Recent years have seen extensive research on the development and application of biodegradable hydrogels. A key focus has been the utilization of natural polymers, such as chitosan and alginate, which provide high biocompatibility and biodegradability. Chitosan, which is derived from chitin, ranks among the most extensively studied natural polymers due to its unique properties, including antimicrobial activity, biocompatibility, and hydrogel-forming capacity. Alginate is extracted from seaweed and is similarly valued for its ability to form gels in the presence of calcium ions. Chitosan-alginate hydrogels show particular promise for developing moisture-regulating packaging materials. Studies have demonstrated that a combination of these polymers results in an optimal balance between mechanical strength and swelling capacity, rendering them suitable for food industry applications. Moreover, such hydrogels have proven effective in slowing moisture loss from fresh produce like fruits and vegetables.

Another critical research direction involves hydrogel applications for controlled release of active substances. Researchers have developed chitosan-alginate hydrogels capable of gradual antimicrobial agent release. These materials can be incorporated into packaging systems that suppress pathogenic microorganism growth and extend product shelf life – a crucial consideration for the food industry, where microbiological safety remains paramount [4-6].

The primary goal of this study was to develop novel biodegradable hydrogels based on chitosan and alginate with controlled moisture release properties for smart packaging.

The research encompassed the following specific tasks:

- 1) to investigate physicochemical and functional properties of hydrogels, including swelling degree, mechanical strength, and biodegradability;
- 2) to evaluate hydrogel effects on the shelf life of model products (carrots and ascorbic acid in the form of tablets);
- 3) to examine the potential of hydrogels for the development of packaging materials with antimicrobial properties;
- 4) to conduct a comparative analysis of the effectiveness of chitosan-based, alginate-based, and composite hydrogels.

**Materials and methods.** Figure 1 presents a research flowchart outlining the development and characterization of biodegradable chitosan-based and alginate-based hydrogels for smart packaging. The flowchart illustrates key research stages, including material preparation, hydrogel synthesis, physicochemical characterization, and functional property evaluation.

The initial stage involved the selection and preparation of raw components: chitosan, sodium alginate, glutaraldehyde, and calcium chloride. This stage was followed by hydrogel fabrication using crosslinking agents to control structural and functional properties. Critical analytical steps included determining the hydrogels' swelling degree, mechanical properties (tensile strength and elongation at break), and biodegradability in soil. The final stage focused on evaluating hydrogel effects on moisture retention, color stability, and microbial contamination in model products (carrots and ascorbic acid in the form of tablets) during a 28-day storage period.

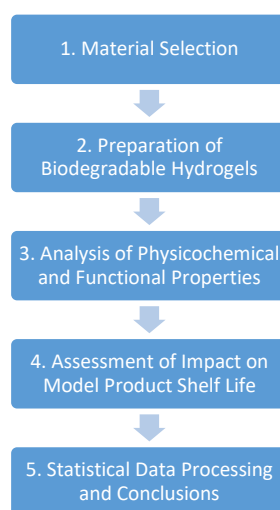


Fig. 1. Research flowchart

### Materials

The biodegradable hydrogels were developed using the following materials: chitosan, sodium alginate, glutaraldehyde, and calcium chloride. Table 1 presents the characteristics and quality parameters of these materials.

Table 1

Characteristics and quality parameters

Material	Molecular weight (kDa)	Degree of deacetylation (%)	Solution concentration (%)	Dissolution conditions
Chitosan	100-300	85	1 (in acetic acid)	Room temperature
Sodium alginate	200-400	-	1 (in distilled water)	Heating to 60°C
Glutaraldehyde	-	-	0.5	Room temperature
Calcium chloride (CaCl <sub>2</sub> )	-	-	2	Room temperature

Chitosan with a molecular weight of 100-300 kDa and a deacetylation degree of 85% was dissolved in a 1% acetic acid solution at room temperature. Sodium alginate with a molecular weight of 200-400 kDa was dissolved in distilled water with heating to 60°C. For polymer crosslinking, a 0.5% glutaraldehyde solution and a 2% calcium chloride solution were used. The crosslinking process was carried out at room temperature for 24 hours. These materials were selected due to their biodegradability, hydrophilic properties, and capacity for modification, making them suitable for developing hydrogels with controlled moisture release.

### Methods

*Analysis of physicochemical and functional properties of hydrogels. Swelling degree determination.* The swelling degree ( $S_w$ ) was calculated using the formula:

$$S_w = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100\% \quad (1)$$

where:  $W_s$  – the mass of the swollen hydrogel (after immersion in liquid);  $W_d$  – the mass of the dry hydrogel (before immersion).

This formula (1) was used to determine the percentage increase in hydrogel mass upon liquid absorption. The swelling process was studied under different conditions: distilled water, physiological saline (0.9% NaCl), and pH 4.0 and 7.4 buffer solutions.

*Mechanical properties.* Mechanical properties were evaluated using an Instron 5566 universal testing machine equipped with a 10 kN load cell and a digital data acquisition system. Samples were tested at room temperature with a tensile speed of 10 mm/min.

Tensile strength ( $\sigma$ ) was determined as:

$$\sigma = \frac{F_{max}}{A} \quad (2)$$

where:  $F_{max}$  – the maximum load before rupture (N);  $A$  – the cross-sectional area of the sample (mm<sup>2</sup>).

Elastic modulus ( $E$ ) was calculated as the tangent of the slope in the linear part of the stress-strain curve:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (3)$$

where:  $\Delta\sigma$  – the change in stress (MPa);  $\Delta\varepsilon$  – the corresponding change in strain.

Elongation at break ( $\varepsilon$ ) was computed as:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (4)$$

where:  $L_f$  – the final sample length after testing (mm);  $L_0$  – the initial length (mm).

*Biodegradability assessment.* The biodegradability of the hydrogels was evaluated by mass loss during soil burial. Samples were placed in containers with moist soil at 25°C and 60% moisture. After 7, 14, 21, and 28 days, the hydrogels were retrieved, rinsed with distilled water, dried at 40°C to constant weight, and weighed.

The degradation degree ( $D$ , %) was calculated as:

$$D = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \times 100\% \quad (5)$$

where:  $m_0$  – the initial sample mass (g) and  $m_t$  – the mass after  $t$  days (g).

The degradation rate ( $R$ , %/ day) was determined by:

$$R = \frac{D}{t} \quad (6)$$

where,  $t$  – the degradation time (days).

*Effect on shelf life of model products.* Carrots and ascorbic acid in the form of tablets were used as model products to study the effects of hydrogels on shelf life. The products were stored at 25°C and 60% relative moisture for 28 days. The following parameters were evaluated: moisture loss, color change, and microbial contamination during biodegradation.

*Moisture loss ( $W$ , %)* was assessed by changes in weight using Formula:

$$W = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \% \quad (7)$$

where:  $m_i$  – the initial product mass (g);  $m_f$  – the mass after storage (g).

*Color change* was evaluated using the color difference indicator  $\Delta E$ :

$$\Delta E = \sqrt{(L_f - L_0)^2 + (a_f - a_0)^2 + (b_f - b_0)^2} \quad (8)$$

where,  $L$ ,  $a$ ,  $b$  – CIE Lab color coordinates before (0) and after ( $f$ ) storage.

*Microbial contamination* (CFU/g) was quantified via the serial dilution agar plate procedure.

*Statistical analysis.* All experiments were conducted three times. Data were processed using Statistica 10.0 software. Student's t-test was applied for mean comparisons, with a significance level of  $p < 0.05$ .

**Research results.** *Physicochemical properties of hydrogels. swelling degree.* Table 2 presents the swelling degree values of chitosan-based, alginate-based, and composite hydrogels in four different conditions: distilled water, physiological saline (0.9% NaCl), and pH 4.0 and 7.4 buffer solutions.

Table 2

Hydrogel composition	Swelling degree of hydrogels			
	Distilled water, %	Physiological saline, %	pH 4.0, %	pH 7.4, %
Chitosan	1200 ± 50	800 ± 30	950 ± 40	1100 ± 50
Alginate	1000 ± 40	700 ± 25	850 ± 35	900 ± 40
Chitosan-alginate	1500 ± 60	1000 ± 40	1300 ± 50	1400 ± 60

The results demonstrate that hydrogels exhibit the highest swelling capacity in distilled water. This occurs because the absence of ions in the water facilitates maximum moisture absorption through the hydrophilic groups of the polymers. The composite hydrogel achieved the highest swelling degree (1500 ± 60%) due to the synergistic effect of chitosan's amino groups and alginate's carboxyl groups, which enhance water absorption. In physiological saline, swelling was reduced as NaCl ions screened the polar groups, decreasing their water absorption capacity. The lowest values were observed at pH 4.0, which can be attributed to the reduced ionization of alginate's carboxyl groups, limiting their interaction with water. Overall, the data confirm that the hydrogel composition and medium strongly influence the properties of hydrogels. The combination of chitosan and alginate showed superior swelling properties, making it promising for moisture regulation in packaging materials.

*Mechanical properties.* Table 3 presents the tensile strength, elastic modulus, and elongation at break of chitosan-based, alginate-based, and composite hydrogels.

Table 3

Composition	Mechanical properties of hydrogels		
	Tensile strength, MPa	Elastic modulus, MPa	Elongation at break, %
Chitosan	0.8 ± 0.1	1.2 ± 0.2	150 ± 10
Alginate	0.6 ± 0.1	1.0 ± 0.2	130 ± 10
Chitosan-alginate	1.2 ± 0.2	1.5 ± 0.3	180 ± 15

Tensile strength reflects a material's ability to withstand mechanical load. The highest values ( $1.2 \pm 0.2$  MPa) were observed for the composite hydrogel due to the synergistic effect of the two polymers. Pure chitosan and alginate hydrogels exhibited lower tensile strengths ( $0.8 \pm 0.1$  MPa for chitosan and  $0.6 \pm 0.1$  MPa for alginate). The elastic modulus characterizes a material's stiffness. The composite hydrogel also showed the highest values ( $1.5 \pm 0.3$  MPa), resulting from enhanced intermolecular interactions. Elongation at break indicates a material's ability to stretch before rupture. The composite hydrogel achieved the greatest elasticity ( $180 \pm 15\%$ ), while pure chitosan and alginate samples exhibited lower deformation capacity ( $150 \pm 10\%$  and  $130 \pm 10\%$ , respectively). Thus, composite (chitosan-alginate) hydrogels possess an optimal balance of strength and elasticity, making them promising for applications in packaging materials and biomedical devices.

*Biodegradability of hydrogels.* Table 4 presents the biodegradation parameters of hydrogels during soil burial testing.

Table 4

Biodegradability of hydrogels

Hydrogel composition	Day	Mass, %	Degradation degree, %	Degradation rate, %/day
Chitosan	7	$85 \pm 3$	$15 \pm 3$	$2.14 \pm 0.43$
	14	$70 \pm 2$	$30 \pm 2$	$2.14 \pm 0.14$
	21	$55 \pm 2$	$45 \pm 2$	$2.14 \pm 0.10$
	28	$40 \pm 2$	$60 \pm 2$	$2.14 \pm 0.70$
Alginate	7	$90 \pm 3$	$10 \pm 3$	$1.43 \pm 0.43$
	14	$80 \pm 3$	$20 \pm 3$	$1.43 \pm 0.21$
	21	$65 \pm 3$	$35 \pm 3$	$1.67 \pm 0.14$
	28	$50 \pm 3$	$50 \pm 3$	$1.79 \pm 0.11$
Chitosan-alginate	7	$80 \pm 2$	$20 \pm 2$	$2.86 \pm 0.29$
	14	$60 \pm 2$	$40 \pm 2$	$2.86 \pm 0.14$
	21	$45 \pm 2$	$55 \pm 2$	$2.62 \pm 0.10$
	28	$30 \pm 2$	$70 \pm 2$	$2.50 \pm 0.07$

The results indicate that chitosan hydrogels degrade most rapidly, reaching  $15 \pm 3\%$  degradation after 7 days and  $60 \pm 2\%$  after 28 days. The degradation rate of the chitosan hydrogel remained stable throughout the experimental period:  $2.14 \pm 0.43\%/day$ . The alginate hydrogel exhibited slower degradation ( $10 \pm 3\%$  after 7 days,  $50 \pm 3\%$  after 28 days), with the rate increasing from  $1.43 \pm 0.43\%/day$  to  $1.79 \pm 0.11\%/day$ . The chitosan-alginate composite showed intermediate indicators, achieving  $20 \pm 2\%$  degradation at 7 days and  $70 \pm 2\%$  at 28 days. The degradation rate of composite hydrogels decreased from  $2.86 \pm 0.29\%/day$  to  $2.50 \pm 0.07\%/day$ . The findings suggest that composite hydrogels have a higher degradation degree than pure alginate alternatives but exhibit a slower degradation rate than chitosan hydrogels. These properties make the composite compositions suitable for applications requiring a balance between biodegradability and durability.

*Effect of hydrogels on model product shelf life. Moisture in products.* Figure 2 illustrates the moisture retention in carrots during storage (for 7, 14, 21, and 28 days) with the application of different hydrogels.

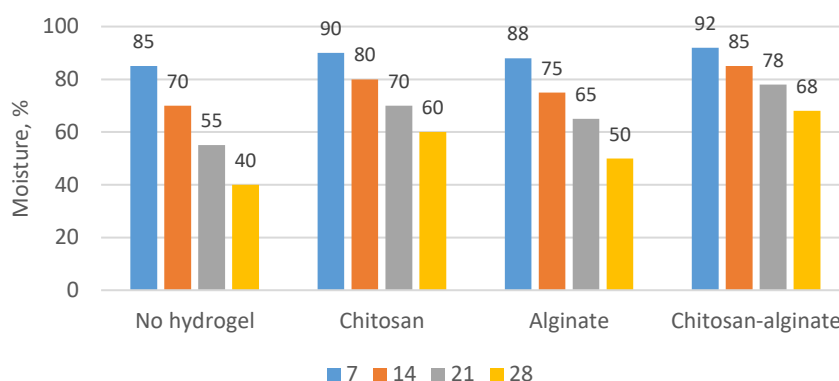


Fig. 2. Carrot moisture content during storage with hydrogels

According to the results, samples without hydrogel application exhibited the most rapid moisture loss: moisture decreasing to  $40 \pm 2\%$  after 28 days indicated significant product dehydration. The chitosan hydrogel markedly improved moisture retention, maintaining  $60 \pm 2\%$  moisture over the same period. This enhanced performance can be attributed to the excellent water-holding capacity of chitosan. The alginate-based hydrogel showed moderate moisture retention, preserving carrot moisture at  $50 \pm 2\%$  after 28 days (gradual moisture release). The chitosan-alginate composite hydrogel demonstrated superior performance, minimizing moisture loss –  $68 \pm 2\%$  after 28 days. These findings position chitosan-alginate composite hydrogels as highly promising materials for food packaging applications that protect fresh products from drying.

*Product color stability.* Table 5 presents the color change of carrots during storage with different hydrogels for 7, 14, 21, and 28 days. The  $\Delta E$  indicator was used to evaluate the color change over time. It was calculated by measuring the color changes in CIE Lab color coordinates. Higher  $\Delta E$  values indicate greater color deviation.

Table 5

Color change of carrots during storage

Hydrogel composition	$\Delta E$ after 7 days	$\Delta E$ after 14 days	$\Delta E$ after 21 days	$\Delta E$ after 28 days
No hydrogel	$5.2 \pm 0.3$	$10.8 \pm 0.5$	$18.5 \pm 0.7$	$25.2 \pm 1.0$
Chitosan	$3.1 \pm 0.2$	$7.5 \pm 0.4$	$12.0 \pm 0.6$	$17.3 \pm 0.8$
Alginate	$4.0 \pm 0.3$	$8.9 \pm 0.5$	$14.7 \pm 0.7$	$20.5 \pm 0.9$
Chitosan-alginate	$2.5 \pm 0.2$	$5.9 \pm 0.3$	$9.8 \pm 0.5$	$14.2 \pm 0.7$

The samples without hydrogel application exhibited the most rapid color deterioration:  $\Delta E$  reached 25.2 after 28 days, indicating severe browning and visible defects. The chitosan-based hydrogel reduced the rate of color change. After 28 days of storage,  $\Delta E$  was 17.3, which indicates a moderate change in color. The alginate-based hydrogel, on the other hand, showed lower efficacy, with a  $\Delta E$  of 20.5 signaling a more pronounced color change after 28 days. The composite hydrogel proved to be the most effective, providing the least amount of color change ( $\Delta E = 14.2$  after 28 days). Thus, chitosan-alginate hydrogels represent a promising option for preserving the freshness and quality of vegetables for longer periods.

*Microbial contamination.* Table 6 presents changes in the microbial contamination of carrots (in colony-forming units per gram, CFU/g) during storage over 7, 14, 21, and 28 days with different types of hydrogels.

Table 6

Microbial contamination of carrots

Hydrogel composition	CFU/g at 7 days	CFU/g at 14 days	CFU/g at 21 days	CFU/g at 28 days
No hydrogel	$10^5 \pm 10^3$	$10^6 \pm 10^4$	$10^7 \pm 10^5$	$10^8 \pm 10^6$
Chitosan	$10^3 \pm 10^2$	$10^4 \pm 10^3$	$10^5 \pm 10^3$	$10^6 \pm 10^4$
Alginate	$10^4 \pm 10^3$	$10^5 \pm 10^4$	$10^6 \pm 10^4$	$10^7 \pm 10^5$
Chitosan-alginate	$10^2 \pm 10^1$	$10^3 \pm 10^2$	$10^4 \pm 10^3$	$10^5 \pm 10^3$

In the absence of hydrogels, rapid microbial proliferation was observed, with contamination reaching  $10^8$  CFU/g by day 28. This result suggests a serious deterioration in product quality. The chitosan-based hydrogel effectively suppressed bacterial growth, yet microbial load still reached  $10^6$  CFU/g by day 28 – several times lower than in no-hydrogel samples. The alginate hydrogel exhibited moderate antimicrobial activity, but bacterial levels increased to  $10^7$  CFU/g by day 28, demonstrating lower efficacy compared to chitosan. The composite hydrogel proved most effective, substantially slowing bacterial growth – after 28 days, the CFU count was only  $10^5$ , resulting in a substantial extension of shelf life. Thus, composite hydrogels represent a promising material for fresh product packaging, reducing microbial contamination and prolonging freshness.

*Effects of hydrogels on pharmaceutical products.* Figure 3 illustrates changes in the ascorbic acid content of tablets stored for 7, 14, 21, and 28 days in different types of hydrogel packaging.

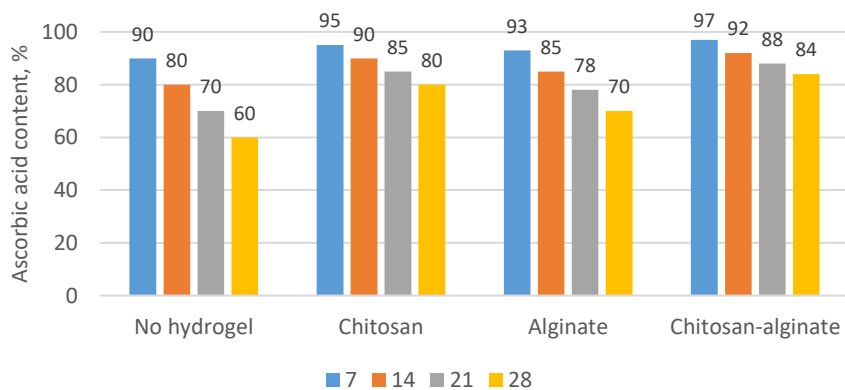


Fig. 3. Ascorbic acid content in tablets

Without hydrogel packaging, the degradation rate of ascorbic acid was highest – after 28 days, its content decreased to  $60 \pm 2\%$ , which could considerably reduce the drug’s effectiveness. The chitosan hydrogel slowed decomposition, maintaining  $80 \pm 2\%$  of vitamin C after 28 days, confirming its protective properties. The alginate hydrogel also delayed degradation but was less effective than chitosan, retaining  $70 \pm 2\%$  of vitamin C after 28 days. The chitosan-alginate composite hydrogel delivered the best results – after 28 days, ascorbic acid content remained at  $84 \pm 2\%$ , demonstrating optimal barrier properties. Thus, composite hydrogel packaging provides the highest level of protection for active

pharmaceutical ingredients, making it a promising solution for pharmaceutical packaging applications.

**Discussion.** This study developed and characterized biodegradable hydrogels based on chitosan and alginate with controlled moisture release properties. The results reveal that composite hydrogels exhibit enhanced moisture retention, high mechanical strength, and significant biodegradability, making them promising alternatives for smart packaging applications. For comparison with the existing literature, Table 7 presents key findings from similar studies.

Table 7

## Comparative analysis of research findings

Study	Hydrogel Type	Swelling Degree (%)	Tensile Strength (MPa)	Biodegradability (28 days, %)	Effect on Product Shelf Life
Present study	Chitosan-alginate	1500	1.2	70	68% moisture retention, $\Delta E = 14.2$
Bahndral et al. (2024)	Chitosan	1200	0.8	60	Moderate evaporation reduction
Wang et al. (2025)	Alginate	1000	0.6	50	Limited dehydration protection
Kumar et al. (2024)	Polysaccharide	1300	1.0	65	Good freshness preservation
Nath et al. (2023)	Biodegradable composite	1400	1.1	68	High dehydration protection

Our findings indicate that chitosan-alginate hydrogels demonstrate superior sorption capacity compared to pure chitosan or alginate hydrogels [5-7]. This enhancement stems from synergistic interactions between chitosan's amino groups and alginate's carboxyl groups, which collectively foster water absorption. Similar conclusions were drawn by Nath et al. [2], who reported that incorporating natural polysaccharides into hydrogels enhances moisture retention and extends product shelf life. Regarding the mechanical properties, our results align with those reported by Kumar et al. [4] and Lang et al. [8]. These studies noted that chitosan-based hydrogels typically exhibit tensile strengths of 0.8-1.0 MPa, while composite hydrogels (e.g., chitosan-alginate) can achieve 1.2 MPa or higher. This conclusion confirms the effectiveness of composite approaches for improving the mechanical performance of packaging materials. Biodegradability is a critical factor for eco-friendly packaging applications. Our results (70% over 28 days) support findings from studies by Kumar and Gupta [5] and Kumar et al. [4], where natural polymer-based hydrogels showed 50-80% degradation within similar timeframes. The data obtained by Nath et al. [2] additionally demonstrate that incorporating supplementary natural components such as cellulose may slow degradation while contributing to mechanical stability – an important consideration for packaging design [9,10].

The positive impact of hydrogels on food preservation is further supported by Nath et al. [2] and Mondéjar-López, et al. [1]. In our study, chitosan-alginate hydrogels achieved optimal performance in moisture retention (68% after 28 days) and color stability ( $\Delta E = 14.2$ ), making them particularly suitable for extending the shelf life of fresh products. Nath et al. [2] also highlighted chitosan's inherent antimicrobial properties, which may inhibit food spoilage mechanisms. Another advantage of chitosan-alginate hydrogels lies in their capacity for controlled release of active compounds. Wang et al. [3] found that hydrogels containing bioactive

substances can gradually release these components, creating antibacterial effects. Our study corroborates this functionality, pointing to the potential of such materials for active packaging systems that enhance product preservation.

Despite the promising results, this study has several limitations. The experiments were conducted in a controlled laboratory environment, which may not fully replicate real-world storage conditions where variable temperature, humidity, and microbial exposure could alter hydrogel performance. Furthermore, biodegradability was assessed over a 28-day period, whereas longer-term studies would be required to understand degradation behavior in natural environments [11,12]. The research employed carrots as a model food product, necessitating additional testing with diverse food categories – including meats, fruits, and dairy products – to evaluate the hydrogels' universal applicability. Another critical consideration is the long-term mechanical stability of the hydrogels under repeated wetting-drying cycles, as such conditions could accelerate their degradation. Finally, this study did not include an economic analysis of production costs, which is essential for assessing the commercial viability and potential industrial adoption of these packaging materials.

**Conclusion.** The primary objective of this study was to develop novel biodegradable hydrogels based on chitosan and alginate with controlled moisture release properties for smart packaging applications. The research comprehensively investigated the physicochemical properties of the hydrogels, including their mechanical strength, biodegradability, and effects on the shelf life of model products (carrots and ascorbic acid tablets). The hydrogels were synthesized using chitosan, sodium alginate, glutaraldehyde, and calcium chloride. Experimental methods encompassed swelling degree determination, mechanical property analysis, biodegradability assessment, and the evaluation of the hydrogels' effects on product moisture content, color stability, and microbial contamination.

Key findings revealed the exceptional swelling capacity of chitosan-alginate hydrogels (1500% in distilled water), making them highly effective for moisture regulation. The mechanical properties were found to be equally impressive, with a tensile strength of 1.2 MPa and an elongation at break of 180%. Biodegradability reached 70% after 28 days, confirming their environmental compatibility. The hydrogels maintained carrot moisture at 68% after 28 days, limited color change ( $\Delta E = 14.2$ ), and reduced microbial contamination to  $10^5$  CFU/g. In pharmaceutical applications, the hydrogels preserved 84% of ascorbic acid content in tablets over the same period.

However, the study has certain limitations. The experiments were conducted under controlled laboratory conditions, which may not fully replicate real-world storage environments. Additional testing across diverse food categories (meats, fruits, dairy products) is necessary to verify the universal applicability of our findings. Furthermore, long-term mechanical stability under repeated wetting-drying cycles requires investigation.

Future research directions include optimizing hydrogel composition to enhance mechanical strength and biodegradability and conducting real-world storage condition trials. It is also necessary to develop modified hydrogel variants with additional functionalities, such as antimicrobial protection and controlled release of active compounds. These advancements will broaden the hydrogels' application potential across food processing, agriculture, and pharmaceutical industries.

**References**

1. Mondéjar-López M., García-Simarro M.P., Navarro-Simarro P., Gómez-Gómez L., Ahrazem O., Niza E. A review on the encapsulation of “eco-friendly” compounds in natural polymer-based nanoparticles as next generation nano-agrochemicals for sustainable agriculture and crop management // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2024. – Vol. 280, Part 3. – P. 136030.
2. Nath P.C., Sharma R., Debnath S., Sharma M., Inbaraj B.S., Dikkala P.K., Nayak P.K., Sridhar K. Recent trends in polysaccharide-based biodegradable polymers for smart food packaging industry // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2023. – Vol. 253, Part 8. – P. 127524.
3. Wang D., Zhu C., Yang Q., Xu Y., Zhang D., Wang D., Liu F., Hou C. Stretchable, controlled release of active substances, and biodegradable chitosan-polyvinyl alcohol hydrogel film for antibacterial and chilled meat preservation // *Food Industry*. – 2025. – Vol. 477. – P. 143608.
4. Kumar B., Singh N., Kumar P. A review on sources, modification techniques, properties and potential applications of alginate-based modified polymers // *European Polymer Journal*. – 2024. – Vol. 213. – P. 113078.
5. Kumar D., Gupta R.K. Natural polymers-humic acid and lignin based hydrogels: In agriculture, environment and energy storage // *Industrial Crops and Products*. – 2024. – Vol. 219. – P. 119029.
6. Verma K., Saha S., Sarkar C. Exploration of Biodegradable Polymeric Particles in Agriculture: A Holistic Approach for Sustainable Farming // *Environmental Science: Advances*. – 2025. – Vol. 4. – No. 3. – P. 409-431.
7. Bahndral A., Shams R., Choudhary P. Plant-based chitosan for the development of biodegradable packaging materials // *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*. – 2024. – Vol. 8. – P. 100598.
8. Lang Z., Yan S., Zhu Q. Water retention and sustained release of magnesium-based biochar modified hydrogel composite materials // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2023. – Vol. 11, No. 6. – P. 111380.
9. AbdAllah A.M., Mashaheet A.M., Burkey K.O. Super absorbent polymers mitigate drought stress in corn (*Zea mays* L.) grown under rainfed conditions // *Agricultural Water Management*. – 2021. – Vol. 254. – P. 106946.
10. Anuar W.A.N.W., Ramli R.A., Mahmoud M.M.E.S., Warkar S.G. Recent study on biodegradable hydrogels for agriculture application: a review // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2025. – Vol. 13, № 2. – P. 115679.
11. Ayana D., Yermekkul Z., Issakov Y., Mirobit M., Ainura A., Yerbolat K., Ainur K., Kairat Z., Zhu K., Dávid L.D. The possibility of using groundwater and collector-drainage water to increase water availability in the Maktaaral district of the Turkestan region of Kazakhstan // *Agricultural Water Management*. – 2024. – Vol. 301. – P. 108934.
12. Azimov A. Assessing water quality for human consumption in the Shardara reservoir using nanofiltration methods // *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*. – 2024. – Vol. 19, № 6. – P. 1979-198.
13. Bahramian B., Abedi-Firoozjah R., Kiani-Salmi N., Azizian A., Dorud N., Noori S.M.A., Hashemi M., Assadpour E., Tavassoli M., Sadeghi E., Zhang F., Jafari S.M. Multifunctional performance of gallic acid in biodegradable food packaging films and coatings: Mechanisms, developments, applications, and horizons // *European Polymer Journal*. – 2024. – Vol. 221. – P. 113559.
14. Bolysbek A.A., Azimov A., Iztleuov G.M., Djalilov A.T., Shirinov S.D. Hydrogel based on starch, acrylamide and kaoline // *Rasayan Journal of Chemistry*. – 2024. – Vol. 17, № 3. – P. 848-854.

*This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24993129).*

*Received: 20 July 2025*

*Accepted: 15 September 2025*

А. Азимов<sup>1</sup>, А.А. Болысбек<sup>1</sup>, Г.М. Изтлеуов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан

### ХИТОЗАН НЕГІЗІНДЕГІ ЖАҢА БИОЛОГИЯЛЫҚ ҮДЫРАЙТЫН ГИДРОГЕЛЬДЕРДІҢ ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ЖАСАУ

**Аңдатпа.** Осы зерттеудің негізгі мақсаты – ақылды орауыштарға арналған ылғалдылықты реттеп тұратын қасиеттері бар хитозан мен альгинат негізінде биожегімді жаңа гидрогелдер әзірлеу болды. Зерттеу барысында гидрогелдердің физика-химиялық қасиеттері жан-жақты қарастырылды, оның ішінде механикалық беріктігі, биожегімділігі және модель өнімдердің (сәбіз бен аскорбин қышқылы таблеткалары) сақтау мерзіміне әсері зерттелді. Гидрогелдер хитозан, натрий альгинаты, глутарльдегид және кальций хлориді қолданылып синтезделді. Эксперименттік әдістерге ісіну дәрежесін анықтау, механикалық қасиеттерін талдау, биожегімділігін бағалау және гидрогелдердің өнімдегі ылғал мөлшеріне, түсінің тұрақтылығына және микробтық ластануына әсерін зерттеу кірді. Негізгі нәтижелер көрсеткендей, хитозан-альгинат гидрогелдерінің ісіну қабілеті ерекше жоғары болды (дистилденген суда 1500%), бұл оларды ылғалдылықты реттеуде өте тиімді етеді. Механикалық қасиеттері де жоғары деңгейде – созылу беріктігі 1,2 МПа және үзілу кезіндегі ұзаруы 180%. Биожегімділік деңгейі 28 күннен кейін 70%-ға жетіп, олардың экологиялық тұрғыдан қауіпсіздігін дәлелдеді. Гидрогелдер 28 күн ішінде сәбіздің ылғалдылығын 68% деңгейінде сақтап, түсінің өзгеруін шектеді ( $\Delta E = 14,2$ ) және микробтық ластануды  $10^5$  КОЕ/г дейін азайтты. Фармацевтикалық қолдануда гидрогелдер 28 күн ішінде таблеткалардағы аскорбин қышқылының 84% мөлшерін сақтап қалды. Болашақ зерттеулер гидрогелдердің құрамын жетілдіруге, олардың механикалық беріктігі мен биожегімділігін арттыруға және нақты сақтау жағдайларында сынақтар жүргізуге бағытталуы тиіс. Сонымен қатар, микробқа қарсы қорғаныс пен белсенді қосылыстарды бақыланатын түрде шығару сияқты қосымша функциялары бар гидрогелдердің модификацияланған түрлерін әзірлеу қажет. Бұл жетілдірулер гидрогелдердің азық-түлік өнеркәсібінде, ауыл шаруашылығында және фармацевтика саласында қолдану аясын кеңейтеді.

**Тірек сөздер:** биологиялық үдырайтын гидрогельдер, хитозан, альгинат, бақыланатын ылғалдың бөлінуі, экологиялық таза материалдар.

А. Азимов<sup>1</sup>, А.А. Болысбек<sup>1</sup>, Г.М. Изтлеуов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

### РАЗРАБОТКА ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА

**Аннотация.** Основной целью данного исследования было разработать новые биоразлагаемые гидрогели на основе хитозана и альгината с контролируемыми свойствами высвобождения влаги для применения в «умной» упаковке. В рамках исследования были всесторонне изучены физико-химические свойства гидрогелей, включая их механическую прочность, биоразлагаемость и влияние на срок хранения модельных продуктов (морковь и таблетки с аскорбиновой кислотой). Гидрогели синтезированы с использованием хитозана, альгината натрия, глутарового альдегида и хлорида кальция. Экспериментальные методы включали определение степени набухания, анализ механических свойств, оценку биоразлагаемости, а также изучение влияния гидрогелей на содержание влаги в продуктах, устойчивость цвета и микробное загрязнение. Ключевые результаты показали, что гидрогели на основе

хитозана и альгината обладают исключительно высокой способностью к набуханию (1500% в дистиллированной воде), что делает их эффективными регуляторами влаги. Механические свойства также оказались высокими: прочность на растяжение составила 1,2 МПа, а удлинение при разрыве – 180%. Биоразлагаемость достигла 70% через 28 дней, что подтверждает их экологическую безопасность. Гидрогели сохраняли уровень влаги в моркови на уровне 68% через 28 дней, ограничивали изменение цвета ( $\Delta E = 14,2$ ) и снижали микробное загрязнение до  $10^5$  КОЕ/г. В фармацевтическом применении гидрогели сохраняли 84% содержания аскорбиновой кислоты в таблетках за тот же период. Будущие направления исследований включают оптимизацию состава гидрогелей для улучшения их механической прочности и биоразлагаемости, а также проведение испытаний в реальных условиях хранения. Также необходимо разработать модифицированные варианты гидрогелей с дополнительными функциями, такими как антимикробная защита и контролируемое высвобождение активных соединений. Эти усовершенствования расширят потенциал применения гидрогелей в пищевой промышленности, сельском хозяйстве и фармацевтике.

**Ключевые слова:** биоразлагаемые гидрогели, хитозан, альгинат, контролируемое выделение влаги, экологически чистые материалы.

IRSTI 61.59.29

Arthur P. Baldo<sup>1</sup> – main author, | ©  
Ana Paula Ferreira<sup>2</sup>, Helder T. Gomes<sup>3</sup>



<sup>1,2</sup>MSc on Chemical Engineering, <sup>3</sup>Doctor on Chemical Engineering

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0000-7853-0667> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-8979-8407>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-6898-2408>



<sup>1,2,3</sup>Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança,



Bragança, Portugal



<sup>3</sup>[htgomes@ipb.pt](mailto:htgomes@ipb.pt)

<https://doi.org/10.55956/OXOT6932>

## DEVELOPMENT OF POLYMERIC MEMBRANES WITH CARBON ADDITIVES FOR REMOVAL OF PHENOL

**Abstract.** This study presents the synthesis and application of polymeric mixed matrix membranes (MMMs) incorporating activated carbon (AC) derived from extracted olive pomace for removal of phenol from aqueous solutions. MMMs were fabricated by dispersing AC in a PVDF/PVP/NMP matrix, followed by phase inversion. Characterization revealed improved surface porosity and structural asymmetry in the membranes, which were ascribed to AC. Continuous flow experiments using phenol (50 mg L<sup>-1</sup>) as a model pollutant, which are very common in olive mill wastewater, demonstrated that membranes containing AC achieved up to 90% removal within 60 minutes in continuous mode, significantly outperforming pristine membranes. The results indicate that incorporating bio-based AC into polymer membranes improves adsorption capacity and filtration efficiency, offering a promising route for sustainable wastewater treatment and inspiring further research in this field.

**Keywords:** activated carbon, mixed matrix membranes, phenol adsorption.



Baldo A.P., Ferreira A.P., Gomes H.T. Development of polymeric membranes with carbon additives for removal of phenol //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2025. – No.3(89). – P.159-166. <https://doi.org/10.55956/OXOT6932>

**Introduction.** Polymeric mixed matrix membranes (MMMs) have emerged as one of the most promising and versatile technologies for advanced wastewater treatment [1-3], combining the processability and flexibility of polymeric membranes with the enhanced separation and adsorption capabilities of inorganic or carbon-based fillers [4]. This hybrid design enables improvements in permeability, selectivity, antifouling resistance [5], and mechanical strength, addressing the limitations of conventional membranes. Among the various fillers explored, activated carbon (AC) derived from agro-industrial residues stands out for its cost-effectiveness, high surface area, and strong affinity for a wide range of pollutants [6,7], particularly phenolic compounds [8] commonly found in industrial effluents.

The olive oil extraction process generates significant by-products, particularly olive pomace (OP) and olive mill wastewater (OMWW) [9]. For the two-phase continuous extraction system (standard in Portugal), about 1.1 cubic

meters (1,100 liters) of OMWW are generated per ton of olives milled [10]. About 50 kg of pomace is generated per ton of olives milled [11]. OMWW is a highly pollutant effluent due to its high organic load, phytotoxic phenolic compounds, and limited biodegradability [8,12-14]. Its disposal poses serious environmental risks, such as soil contamination [15], inhibition of plant growth [16], pollution of surface and groundwater [17], and disruption of aquatic ecosystems due to the leaching of phenolic substances [18].

To address these issues, this study focuses on valorizing extracted olive pomace (EOP), a by-product of oil extraction, by producing AC via slow pyrolysis with injection of CO<sub>2</sub>, which enhances porosity development. The resulting activated carbon, rich in surface area and functional groups, is known for its high affinity toward phenolic compounds. By incorporating this bio-based activated carbon into polymeric membranes, this study aims to fabricate mixed matrix membranes with improved adsorptive and filtration properties. These membranes are designed to retain and remove phenol from aqueous solutions, simulating the effluent contaminated with phenol, a representative phenolic compound of OMWW.

**Materials and methods.** *Chemicals and apparatus.* The raw materials and reagents employed in this study include: Olive pomace, provided by Mirabaga – Food Industry and Commerce S.A; Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>), provided by Air Liquide; Distilled water; Sodium chloride (NaOH – 98%), provided by Labkem; Hydrochloric acid 37% (HCl), supplied by AnalaR Normapur; 1-Methyl-2-pyrrolidone (C<sub>5</sub>H<sub>9</sub>NO), provided by Thermo scientific; Polyvinylpyrrolidone (C<sub>6</sub>H<sub>9</sub>NO)<sub>n</sub>, supplied by Thermo scientific; Polyvinylidene Fluoride(-CH<sub>2</sub>CF<sub>2</sub>-)<sub>n</sub>, provided by Thermo scientific; Phenol Crystallized (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O), supplied by Panreac.

*Synthesis of the materials.* AC was synthesized according to procedures described in previous studies [6]. Incorporating 2.5 g of AC, the sample was subjected to ultrasound with 0.7 g of PVP and 7.2 g of NMP for 3 hours to achieve a homogeneous mixture. Subsequently, 0.3 g of PVDF was added to the resulting gel, which was then placed in an agitated bath at 40°C, 200 rpm, for 48 hours. This procedure enabled the formation of polymeric membranes with controlled incorporation of AC, ensuring a uniform distribution of the material and providing desirable characteristics for its application. After 48 hours, the material must rest for at least 12 hours. Following the resting phase, the prepared gel was cast into films of 150, 200, and 300 µm of thickness using a precision blade applicator. After the material was spread, the gel was immersed in a coagulation bath containing distilled water. The resulting membrane was denoted AC\_membrane.

*Characterization techniques.* The characterization techniques were performed according to reported in previous studies [6,17]. The textural properties of the polymeric membranes were gathered upon analysis of N<sub>2</sub> adsorption-desorption isotherms at 77 K, obtained in a Quantachrome NOVATOUGH LX<sup>4</sup> adsorption analyzer equipped with long cells with a bulb and outer diameter of 9 mm. Scanning electron microscopy (SEM) was employed to investigate the surface morphology and microstructure of the membrane samples that were analyzed using a FEI Quanta 400 SEM with a resolution of 4 nm. The elemental composition in the solid phase was determined using a CHNS Flash 2000 analyzer (Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA), equipped with a thermal conductivity detector (TCD). To determine the point of zero charge (pH<sub>PZC</sub>), NaCl (0.01 mol L<sup>-1</sup>) solutions were prepared, and their pH was adjusted between 4 and 12. 0.15 g of the solid sample was then introduced into each prepared solution and agitated at 300 rpm at a constant temperature of 25°C for 24 hours, after this time the mixtures

were filtered, and the pH values were taken. The point of zero charge ( $\text{pH}_{\text{pzc}}$ ) was established by analyzing the variation between the initial and final pH values, enabling the determination of the pH at which the adsorbent surface reaches electrical neutrality.

*Polymeric mixed matrix membranes in a continuous system.* A continuous system was employed to assess the effectiveness of the polymeric membranes in pollutant treatment, utilizing a reactor coupled with an HPLC pump. In the experiments, a pollutant, specifically phenol at a concentration of  $50 \text{ mg L}^{-1}$ , was placed in a container with an inlet directly connected to the pump. The pump, operating at a flow rate of  $0.5 \text{ mL min}^{-1}$ , fed the pollutant through the reactor inlet and passed it through the polymeric membrane installed in the reactor. Samples ( $2 \text{ mL}$ ) were collected during filtration at 0, 5, 15, 30, 45, and 60 minutes. The treated wastewater was collected for subsequent HPLC analysis.

**Research results and discussion.** *Characterization of the materials.* Figure 1 displays the adsorption isotherms of  $\text{N}_2$  at  $77 \text{ K}$  for the AC\_membrane and the membrane itself, along with the results obtained for the BET surface area. The isotherm for AC\_membrane Figure 1 (a) shows an isotherm of Type IV with H3 hysteresis, typical of mesoporous materials with slit-like pores [19]. The measured surface area was  $47 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , significantly lower than the pure AC, likely due to partial pore blockage or encapsulation by the polymer matrix during membrane formation. Nonetheless, incorporating activated carbon enhances the porosity compared to the pristine membrane.

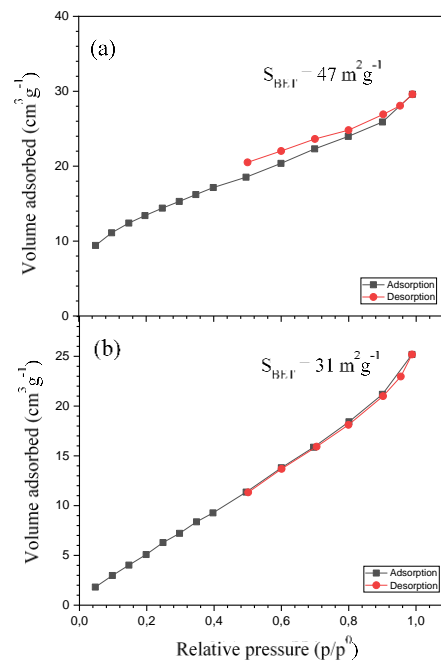


Fig. 1.  $\text{N}_2$  adsorption-desorption isotherms at  $77 \text{ K}$  for (a) AC\_membrane and (b) membrane

The pristine membrane Figure 1 (b), also displays an isotherm of Type IV, with a much smaller hysteresis loop and lower adsorbed volume [20]. The BET surface area of  $31 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  suggests a low degree of porosity, primarily mesoporous, likely originating from the intrinsic structure of the polymer blend used. These results demonstrate that adding AC to the membrane matrix significantly improves

the textural properties, particularly the surface area and pore structure, which are essential for enhanced adsorption performance in wastewater treatment applications.

The hydrophilicity of the surface of the polymeric membranes was evaluated by measuring the contact angle with water. According to the data presented in Table 1, it can be observed that all membranes had a hydrophilic surface. Singh *et al.* [21] suggest that hydrophilic membranes, which have high chemical resistance, could be considered for use in wastewaters and in the processing of food and pharmaceuticals.

The  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  values of the membranes with and without activated carbon were 7.2 and 7.3, respectively, indicating minimal variation between the two formulations. This small difference suggests that the surface charge characteristics are predominantly dictated by the polymeric matrix, rather than by the presence of additives. Such behavior is commonly observed in membranes where the polymer phase remains dominant in defining surface properties, including charge distribution and interfacial interactions. The near-neutral  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  values also imply that, under typical operating conditions, the membranes are likely to exhibit low surface charge, which can reduce electrostatic repulsion between the membrane and neutral or weakly charged species.

Table 1

Contact angle and  $\text{pH}_{\text{PZC}}$ 

Samples	$\text{pH}_{\text{PZC}}$	Contact Angle (°)
AC_membrane	7.2	56±2
Membrane	7.3	54±2

The morphology of polymeric membranes, in their pure form and after the addition of AC, was evaluated by SEM. The manufacturing technique involves casting polymers together with the solvent, resulting in asymmetric structures that promote molecule separation and selective transport. Furthermore, it can be observed that the inner part of the membrane contains macropores, which contribute to its mechanical structure and stability, as illustrated in the SEM images shown in Figure 1.

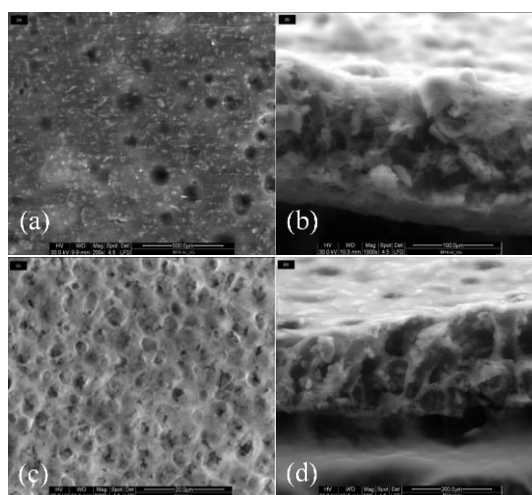


Fig. 1. SEM images of (a) and (b) polymeric membrane with incorporation of AC, and (c) and (d) the pristine polymeric membrane

The incorporation of AC into the composition of the membrane has resulted in an increase in the presence of pores, both on the surface and within. It is important to note that the membrane is asymmetric due to the production process (phase inversion), resulting in a dense surface and a porous internal structure. According to Hwang *et al.* [22], the incorporation of AC into the polymeric solution confers to the membrane selective and adsorptive properties, which can enhance adsorption and increase the number of active adsorbent sites. This facilitates selecting a broader range of particles and improvement of the filtration characteristics.

*Continuous system experiment with simulated olive mill wastewater.* A range of thicknesses (150, 200 and 300  $\mu\text{m}$ ) was selected to enhance adsorption differentiation and evaluate the comparative adsorption performance between the AC\_membrane and the pristine polymeric membranes. During these analyses, a solution containing phenol (50  $\text{mg L}^{-1}$ ) was employed as a model wastewater in a continuous system, thereby assessing the interaction between the materials. The results are presented in Figure 2.

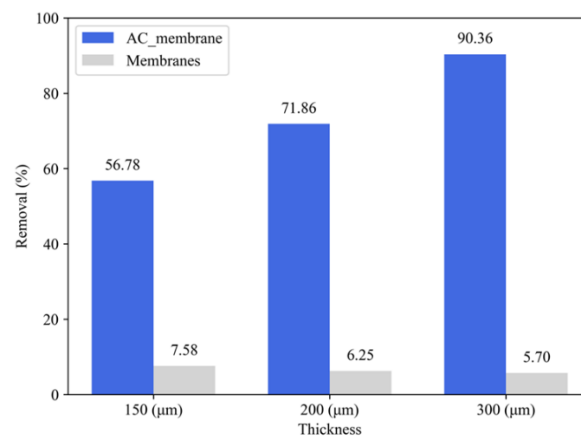


Fig. 2. Percentage of phenol removal for AC\_membrane and pristine membrane with different thicknesses

Membranes incorporating AC and control membranes without activated carbon were tested with three different thicknesses. All thicknesses of AC\_membrane achieved phenol removal efficiencies exceeding 50% within one hour; notably, the membrane with a thickness of 300  $\mu\text{m}$  reached the highest removal efficiency of 90%. In contrast, all the control polymeric membranes demonstrated significantly lower performance across all thicknesses. These findings underscore the critical role of AC incorporation in enhancing pollutant removal, as described in the work of Ferreira *et al.* [6] on gallic acid removal using the same biomass precursor for the synthesis of AC, where a capacity of 314  $\text{mg g}^{-1}$  was achieved, primarily due to the increased availability and distribution of active adsorption sites on the surface of the membrane.

The experimental results showing improved phenol removal efficiency with increasing thickness of AC\_membranes are consistent with membrane transport and adsorption mechanisms reported in literature. Roman *et al.* [23] found that thicker ion-exchange membranes (300–600  $\mu\text{m}$ ) exhibited 20–40% higher diffusion coefficients for neutral organic micropollutants, attributed to reduced surface resistance effects. The transport enhancement associated with increased

membrane thickness is linked to higher bulk-to-surface energy ratios, which promote deeper adsorbate penetration into the membrane matrix. This supports the superior performance observed for the 300  $\mu\text{m}$  AC\_membrane tested in the present study.

However, exceeding optimal thickness ranges, as seen in cases like 2 wt% AC loaded PDMS membranes [24], can lead to decreased free volume and reduced permeability due to filler agglomeration. This suggests that the 300  $\mu\text{m}$  thickness observed in this study represents an optimal balance between maximizing adsorption capacity and minimizing transport limitations.

**Conclusion.** In conclusion, this study underscores the significant potential of polymeric mixed matrix membranes incorporating bio-derived activated carbon as a viable and effective solution for removing phenolic contaminants from aqueous systems. The successful integration of activated carbon synthesized from extracted olive pomace enhanced the membranes' porosity and adsorption capacity. It significantly improved their performance in continuous flow treatment, achieving up to 90% phenol removal in one hour. The observed improvements in adsorption efficiency demonstrate the critical role of AC in increasing the number and accessibility of active sites within the membrane matrix. The physicochemical characterization further confirmed that the modified membranes maintained desirable surface properties, structural asymmetry, and chemical stability, essential for scalable and long-term environmental applications. These findings establish a foundation for developing sustainable membrane technologies based on agro-industrial waste valorization. Future studies focused on membrane regeneration, long-term operational stability, and performance under complex effluent conditions.

#### References

1. Shi W., Xu C., Cai J., et al. Advancements in material selection and application research for mixed matrix membranes in water treatment // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2023. – Vol. 11. – P. 111292.
2. Xu X., Song H., Xiong S., et al. A new route to mixed matrix membranes: Atomic layer deposition of TiO<sub>2</sub> on membrane-forming polymers followed by nonsolvent-induced phase inversion // *Separation and Purification Technology*. – 2025. – Vol. 366. – P. 132737.
3. Dechnik J., Gascon J., Doonan C.J., et al. Mixed-Matrix Membranes // *Angewandte Chemie – International Edition*. – 2017. – Vol. 56. – P. 9292-9310.
4. Chen M., Zhou J., Ma J., et al. Merging polymers of intrinsic microporosity and porous carbon-based zinc oxide composites in novel mixed matrix membranes for efficient gas separation // *Green Energy & Environment*. – 2025. – Vol. 10. – P. 203-213.
5. De Guzman M.R., Andra C.K.A., Ang M.B.M.Y., et al. Increased performance and antifouling of mixed-matrix membranes of cellulose acetate with hydrophilic nanoparticles of polydopamine-sulfobetaine methacrylate for oil-water separation // *Journal of Membrane Science*. – 2021. – Vol. 620. – P. 118881.
6. Ferreira A.P., Baldo A.P., Silva A.S., et al. Enhancing single and multi-component adsorption efficiency of pharmaceutical emerging contaminants using bio waste-derived carbon materials and geopolymers // *Journal of Water Process Engineering*. – 2025. – Vol. 75. – P. 107914.
7. Wong S., Ngadi N., Inuwa I.M., et al. Recent advances in applications of activated carbon from biowaste for wastewater treatment: A short review // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – Vol. 175. – P. 361-375.
8. Mu'azu N.D., Jarrah N., Zubair M., et al. Removal of phenolic compounds from water using sewage sludge-based activated carbon adsorption: A review //

- International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2017. – Vol. 14.
9. Ammari M., Amakdouf H., Zoufri I., et al. Fixed-bed column adsorption of olive mill wastewater using clinker: Optimization via response surface methodology // Results in Engineering. – 2025. – Vol. 26. – P. 104863.
  10. Duarte J.C., Santori F., Ribeiro B., et al. Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities: Proceedings of the 1st International Conference OLEICO+ project: olive mill wastes and the sustainability of the olive oil industry in Europe.
  11. Doula M.K., Moreno-Ortego J.L., Tinivella F., et al. Olive mill waste: recent advances for the sustainable development of olive oil industry // Olive Mill Waste: Recent Advances for Sustainable Management. – 2017. – P. 29-56.
  12. Solomakou N., Goula A.M. Treatment of olive mill wastewater by adsorption of phenolic compounds // Reviews in Environmental Science and Biotechnology. – 2021. – Vol. 20. – P. 839-863.
  13. Yu L., Han M., He F. A review of treating oily wastewater // Arabian Journal of Chemistry. – 2017. – Vol. 10. – P. S1913-S1922.
  14. Ahmad T., Belwal T., Li L., et al. Utilization of wastewater from edible oil industry, turning waste into valuable products: A review // Trends in Food Science & Technology. – 2020. – Vol. 99. – P. 21-33.
  15. Environmental Impact of Olive Oil Processing // EcoMENA. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.ecomena.org/olive-oil-wastes/>. Date of access: 9 June 2025.
  16. Yaakoubi A., Aganchich B., Meddich A., et al. Land spreading of olive mill wastewater (OMW): Biodegradation of organic matter and polyphenols in soil and effect on the activity of the total soil microflora // Water Practice and Technology. – 2024. – Vol. 19. – P. 297-310.
  17. Ferreira A.P., Natal A.P.S., Baldo A.P., et al. Response surface method-driven design of experiments for the synthesis of fly ash-based geopolymers in the gallic acid optimized removal from wastewater // Chemical Engineering Journal Advances. – 2025. – Vol. 21. – P. 100703.
  18. Parida K.M., Pradhan A.C. Removal of phenolic compounds from aqueous solutions by adsorption onto manganese nodule leached residue // Journal of Hazardous Materials. – 2010. – Vol. 173. – P. 758-764.
  19. Dragan G., Kutarov V., Schieferstein E., et al. Adsorption hysteresis in open slit-like micropores // Molecules. – 2021. – Vol. 26. – P. 5074.
  20. Donohue M.D., Aranovich G.L. Classification of Gibbs adsorption isotherms // Advances in Colloid and Interface Science. – 1998. – Vols. 76-77. – P. 137-152.
  21. Singh R. Introduction to membrane technology // In: Membrane Technology and Engineering for Water Purification. – 2015. – P. 1-80.
  22. Hwang L.L., Chen J.C., Wey M.Y. The properties and filtration efficiency of activated carbon polymer composite membranes for the removal of humic acid // Desalination. – 2013. – Vol. 313. – P. 166-175.
  23. Roman M., Roman P., Verbeke R., et al. Non-steady diffusion and adsorption of organic micropollutants in ion-exchange membranes: Effect of the membrane thickness // iScience. – 2021.
  24. Gonçalves A., Cren C., Windmoller D., et al. Activated carbon-loaded polydimethylsiloxane membranes for the pervaporation of 1-butanol from aqueous solutions // Materials Research. – 2019. – Vol. 22. – P. 20180573.

Received: 12 September 2025

Accepted: 25 September 2025

Arthur P. Baldo<sup>1</sup>, Ana Paula Ferreira<sup>1</sup>, Helder T. Gomes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Браганса политехникалық институты, Браганса қ., Португалия

### ФЕНОЛДЫ ЖОЮ ҮШІН КӨМІР ҚОСПАЛАРЫ БАР ПОЛИМЕРЛІК МЕМБРАНАЛАРДЫ ӨЗІРЛЕУ

**Аңдатпа.** Бұл зерттеуде зәйтүн сығындысынан алынған активтелген көмірді (АС) енгізу арқылы полимерлі аралас матрицалы мембраналардың (МММ) синтезі мен қолданылуы қарастырылды. МММ үлгілері АС-ті PVDF/PVP/NMP матрицасына диспергирлеу және фазалық инверсия арқылы дайындалды. Сипаттау нәтижелері мембраналардың беткі кеуектілігі мен құрылымдық асимметриясының артқанын көрсетті, бұл АС-тің болуымен түсіндіріледі. Фенолды (50 мг/л) модельді ластанушы ретінде қолданған үздіксіз ағымдық тәжірибелер, ол зәйтүн майын өндіретін зауыттардың ағынды суларында жиі кездеседі, мембраналардың АС қосылған нұсқалары 60 минут ішінде 90%-ға дейін жою тиімділігіне жеткенін көрсетті, бұл бастапқы мембраналарға қарағанда әлдеқайда жоғары. Нәтижелер био-негізді активтелген көмірді полимерлі мембраналарға енгізу адсорбция қабілетін және сүзу тиімділігін арттыратынын көрсетеді, бұл тұрақты ағынды суларды тазартудың перспективті бағытын ұсынып, осы саладағы одан әрі зерттеулерге түрткі болады.

**Тірек сөздер:** активтелген көмір, аралас матрицалы мембраналар, фенол адсорбциясы.

Arthur P. Baldo<sup>1</sup>, Ana Paula Ferreira<sup>1</sup>, Helder T. Gomes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Политехнический институт Брагансы, г. Браганса, Португалия

### РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН С УГЛЕРОДНЫМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФЕНОЛА

**Аннотация.** В данной работе представлены синтез и применение полимерных мембран смешанной матрицы (МММ), содержащих активированный уголь (АС), полученный из жмыха оливок, для удаления фенола из водных растворов. МММ были изготовлены путем диспергирования АС в матрице PVDF/PVP/NMP с последующей фазовой инверсией. Характеризация выявила улучшенную поверхностную пористость и структурную асимметрию мембран, что обусловлено присутствием АС. Непрерывные эксперименты с фенолом (50 мг/л) в качестве модельного загрязнителя, характерного для сточных вод оливковых мельниц, показали, что мембраны с АС достигали до 90% удаления за 60 минут в непрерывном режиме, что значительно превышает эффективность исходных мембран. Результаты свидетельствуют о том, что введение био-углерода в полимерные мембраны повышает их адсорбционную способность и эффективность фильтрации, предлагая перспективный путь для устойчивой очистки сточных вод и стимулируя дальнейшие исследования в этой области.

**Ключевые слова:** активированный уголь, мембраны смешанной матрицы, адсорбция фенола.

IRSTI 61.74.99

U.G. Kanatbek<sup>1</sup> – main author, ©  
Zh.E. Karimbaeva<sup>2</sup>, A.S. Zhienbaeva<sup>3</sup>,  
Y.K. Reimbayev<sup>4</sup>, A.A. Kurtebayeva<sup>5</sup>,  
Kh. Jumbri<sup>6</sup>, S.A. Orynbayev<sup>7</sup>, M.S. Kalmakhanova<sup>8</sup>



<sup>1</sup>Master student, <sup>2,3</sup>Student, <sup>4,5</sup>PhD student, <sup>6,7,8</sup>PhD, Associate Professor

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0005-4568-9993> <sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0006-9891-5111>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0009-0006-7669-3247> <sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0002-1975-0755>

<sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0003-3345-6453> <sup>7</sup><https://orcid.org/0000-0002-5077-7219>

<sup>8</sup><https://orcid.org/0000-0002-8635-463X>



<sup>1,2,3,4,5,7,8</sup>M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan



<sup>6</sup>University Putra Malaysia, Selangor, Malaysia

@

<sup>8</sup>[marjanseitovna@mail.ru](mailto:marjanseitovna@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/OHWP5394>

## OPTIMIZATION OF BIOCHAR PRODUCTION FROM AGRO-INDUSTRIAL WASTE OF THE ZHAMBYL REGION USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY FOR APPLICATION IN PERMEABLE REACTIVE BARRIERS

**Abstract.** The escalating contamination of water resources by heavy metals and organic pollutants poses a significant environmental challenge, particularly in regions like Zhambyl (Kazakhstan), where water quality varies from moderately to extremely polluted. This study focuses on optimizing biochar production from agro-industrial waste, specifically rice husk, from the Zhambyl region, employing Response Surface Methodology (RSM) to enhance its applicability in Permeable Reactive Barriers (PRBs) for groundwater remediation. Through the Box-Behnken design, key pyrolysis parameters – temperature, activation time, and the ratio of rice husk to phosphoric acid ( $H_3PO_4$ ) – were systematically varied to maximize biochar yield and adsorption capacity. Statistical analysis using ANOVA validated the quadratic model's significance ( $p < 0.05$ ,  $R^2 = 0.9662$ ), identifying optimal conditions at approximately 2.2 g  $H_3PO_4$  and 540°C, yielding up to 84% biochar. These findings underscore the potential of optimized biochar as a sustainable, cost-effective material for environmental remediation, particularly in PRB systems.

**Keywords:** biochar, agro-industrial waste, response surface methodology (RSM), permeable reactive barriers (PRB), pyrolysis, surface morphology.



Kanatbek U.G., Karimbaeva Zh.E., Zhienbaeva A.S., Reimbayev Y.K., Kurtebayeva A.A., Jumbri Kh., Orynbayev S.A., Kalmakhanova M.S. Optimization of biochar production from agro-industrial waste of the Zhambyl region using Response Surface Methodology for application in permeable reactive barriers //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2025. – No.3(89). – P.167-180. <https://doi.org/10.55956/OHWP5394>

**Introduction.** The contamination of wastewater by heavy metals, organic compounds, and petroleum products has become a global environmental threat. The sources of heavy metal pollution in wastewater can be both natural – such as

geochemical, volcanic, and hydrothermal processes – and anthropogenic, including industrial activities, agriculture, domestic waste, and landfills [1].

The Zhambyl Region of Kazakhstan is also facing significant challenges related to the pollution of its water resources. According to recent studies, water quality indicators in the region range from moderately polluted to extremely high levels of contamination. For instance, the pollution level of the Bilikol River is classified as “extremely high,” while the Talas and Shu rivers are considered to have a “moderate level of pollution” [2].

Biochar is a carbon-rich, black solid material produced through a thermochemical process under limited oxygen conditions. It is typically synthesized from organic waste materials, particularly biomass, due to its availability and environmental sustainability. Biomass feedstock sources often include agricultural residues and forestry by-products. The conversion of such biomass into biochar is considered a valorization pathway that not only mitigates waste accumulation but also produces a functional carbonaceous material. Biochar has been successfully applied in diverse areas such as bioenergy production, wastewater treatment, and soil remediation, providing a sustainable alternative to conventional fossil-based carbon sources that are known to contribute to environmental degradation. These advantages support the ongoing interest in optimizing biochar synthesis from agro-industrial waste, especially for environmental remediation purposes [3].

In recent years, increasing attention has been directed toward the sustainable conversion of agricultural and agro-industrial wastes into value-added products. One such promising product is biochar, a carbon-rich solid produced through the thermal decomposition of biomass under limited oxygen conditions – a process known as pyrolysis. Pyrolysis is considered a cost-effective and energy-efficient method that contributes to environmental sustainability and offers multiple applications in soil improvement, water treatment, and pollution control [3,4].

Among the modern environmental technologies, Permeable Reactive Barriers (PRBs) have emerged as a passive, in-situ remediation system that effectively treats contaminated groundwater. These systems rely on various reactive materials – including biochar – to remove pollutants through mechanisms such as adsorption, ion exchange, reduction, and precipitation [5-7]. Biochar has become a material of interest for PRBs due to its large surface area, high porosity, and rich surface chemistry, which include functional groups such as hydroxyl, carboxyl, and aromatic structures [8].

Response Surface Methodology (RSM) is a powerful statistical tool used for modeling and optimizing processes influenced by multiple variables. It enables the development of predictive models by evaluating the relationship between input parameters and output responses such as biochar yield or adsorption capacity [9]. Design-Expert software facilitates this process with tools like power calculations, center points, and model validation features.

Several studies have demonstrated that temperature and heating rate are the most significant factors affecting biochar yield during pyrolysis, whereas particle size and gas flow rate have a lesser effect. For instance, RSM-based experiments have shown that increasing temperature positively correlates with fixed carbon content and yield, supporting the use of predictive modeling for optimization [10]. In one such study, Design-Expert 13 software was used with a Box-Behnken Design (BBD) to assess the influence of temperature, heating rate, and feedstock carbon content, with ANOVA confirming their statistical significance.

Recent work using cassava peels as feedstock further confirmed that temperature, heating rate, and reaction time are critical for both yield and quality, reinforcing the importance of RSM in scaling up sustainable biochar production [11].

Biochar from agro-industrial waste has great potential for environmental uses such as groundwater treatment in permeable reactive barriers (PRBs). Optimizing pyrolysis conditions is important to improve biochar quality and yield. This study aims to optimize biochar production from Zhambyl region waste using Response Surface Methodology (RSM) to enhance its use in PRBs.

**Materials and methods.** *Reagents and materials.* Rice husk, an agricultural waste material, was collected from the Shymkent region, Kazakhstan, and used as the carbon-containing raw material. Orthophosphoric acid ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ , 3 mol/L) served as the activating agent. Ultrapure (UP) water with a pH of 5.85 was used throughout the experiments. The pH of solutions was measured using a pH meter (model pH-009(1)A).

The physicochemical properties and functional groups of the activated samples were determined using FTIR (Fourier Transform Infrared) spectroscopy. FTIR spectra were recorded with an Infracpec spectrometer (model FSM 2202) at a resolution of  $1\text{ cm}^{-1}$  and a scanning range of  $5000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ .

To determine the concentration of Ni in the solution after adsorption, an Agilent 4200 MP-AES microwave plasma atomic emission spectrometer equipped with an Agilent 4107 nitrogen generator was used. The sample introduction system included a cyclonic double-pass spray chamber, a OneNeb nebulizer, and a Solvaflex pump tubing. The analysis was performed using multicomponent calibration standards prepared in a 5%  $\text{HNO}_3$  / 0.2% HF (v/v) medium.

To design the experiments and optimize the biochar activation process, Response Surface Methodology (RSM) was applied using Design-Expert software. The experimental plan was developed based on the Box-Behnken method, which included 17 runs. The considered factors were pyrolysis temperature, processing time, and the ratio of raw material to phosphoric acid ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). The responses were biochar yield and adsorption capacity. The results were expressed in percentages and used to build models for determining the optimal process conditions.

*Synthesis of biochar.* To produce biochar from agro-industrial waste of the Zhambyl region, rice husk was selected as the raw material. The rice husk was first washed with running water to remove impurities, then dried under direct sunlight.

The resulting samples were washed with distilled water to reach a stable pH value of the filtrate. The pH level was measured using a pH meter and maintained within the acceptable range of 5.80-6.00.



Fig. 1. Biochar after pyrolysis

Figure 1. showed about synthesis of biochar involved mixing the pre-washed husk with a phosphoric acid ( $H_3PO_4$ ) solution at a ratio of 1:1.5 (g/g) and a concentration of 3 M. The mixture was left overnight to allow activation. Afterward, pyrolysis was carried out by thermally treating the material in a muffle furnace using a porcelain crucible.

Subsequently, the samples were dried in a vacuum drying chamber. As a result of these processes, two activated biochar samples with specific characteristics were obtained: as biochar derived from rice husk at BCHR 600°C and BCHR 550°C samples.

**Research results and discussion.** *Analysis of infrared (IR) spectra of samples.* As a result of the described processes, two samples of activated biochars with specified characteristics were obtained: As biochar derived from rice husk at BCHR 600°C and BCHR 550°C samples.

Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy and Scanning Electron Microscopy (SEM) confirmed the presence of functional groups (e.g., Si–O–Si, C=O, C=C) and a microporous structure, enhancing biochar's suitability for wastewater treatment.

The physicochemical properties and functional groups of the activated samples were determined using Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy. The FT-IR spectra were recorded using an Infracpec FT-IR spectrometer (model FSM 2202) with a resolution of  $1\text{ cm}^{-1}$  and a scanning range of  $5000\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ .

To thoroughly investigate the functional groups and their influence on the sorption characteristics, an analysis of the biochar FT-IR spectra was performed. Figures 1 and 2 present the spectra of biochar obtained from rice husk at temperatures of 600°C and 550°C, respectively.

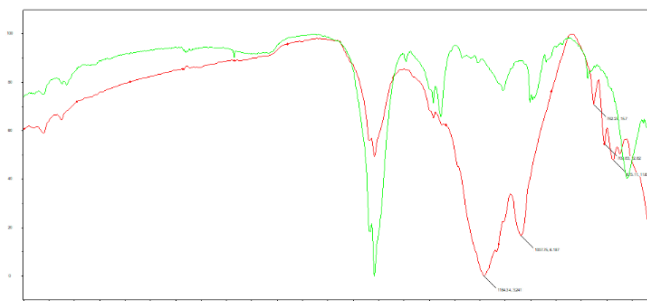


Fig. 2. FT-IR spectra of BCHR 600°C

FT-IR spectra analysis of BCHR 600°C in the range of  $675\text{--}709\text{ cm}^{-1}$  (Fig. 2.), the observed vibrations correspond to the deformations of Si–O–Si bonds, which indicate the presence of silica in the composition of rice husk ash. In the range of  $679\text{--}710\text{ cm}^{-1}$ , the vibrations are caused by the presence of C–H bonds in aromatic structures. In the range of  $710\text{--}752\text{ cm}^{-1}$ , the deformational vibrations of C–H bonds are characteristic of aromatic hydrocarbons. In the range of  $752\text{--}1034\text{ cm}^{-1}$ , intense absorption is associated with the valence vibrations of Si–O bonds in amorphous silicon dioxide, which is the primary component of rice husk after carbonization. In the range of  $1037\text{--}1134\text{ cm}^{-1}$ , the vibrations correspond to C–O bonds, which are typical for complex esters, cellulose residues, or carbonized carbohydrates. In the range of  $1385\text{--}1504\text{ cm}^{-1}$ , the vibrations of C=C bonds in aromatic systems suggest the presence of graphite-like structures in the biochar. In

the range of 1505–1616  $\text{cm}^{-1}$ , the vibrations of C=O and C=C bonds are attributed to the presence of aromatic and carbonyl compounds.

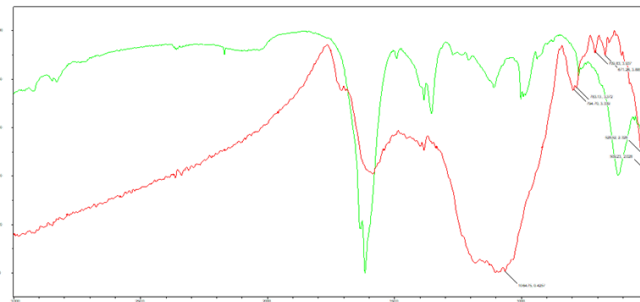


Fig. 3. FT-IR spectra of BCHR 550°C

According to Figure 3, the FT-IR spectrum of BCHR at 550 °C is shown. In all biochar samples, characteristic peaks are observed in the range of 1000–1100  $\text{cm}^{-1}$ , corresponding to the asymmetric vibrations of Si–O–Si bonds, as well as a signal at 788  $\text{cm}^{-1}$  associated with Si–H groups. These findings confirm the presence of silica, which is resistant to high temperatures and persists after the carbonization of rice husk [12]. The results of the EDS spectra further validate its presence. Additionally, the region of 1030–1110  $\text{cm}^{-1}$  may be attributed to the vibrations of C–O–C groups present in the residues of cellulose and hemicellulose [12,13].

Following chemical activation, the structure of the biochar undergoes significant changes: bands appear in the range of 1450–1600  $\text{cm}^{-1}$ , corresponding to aromatic C=C and C=O bonds, indicating the formation of phenolic and carboxyl groups from lignin. Deformational vibrations of aromatic C–H bonds are also observed in the region of 870–880  $\text{cm}^{-1}$ .

The preparation process involves raw material pretreatment, pyrolysis under limited oxygen access, followed by washing and drying, resulting in a material suitable for use in reactive barriers.

*Morphological analysis (SEM) of BCHR 600°C and BCHR 550°C materials.* The SEM analyses of BCHR biochar samples pyrolyzed at 550°C and 600°C reveal progressive structural evolution with increasing temperature. At 550°C, the biochar exhibits a heterogeneous structure with a combination of micro- and macropores, partially preserved biomass anatomy, and disrupted cell wall frameworks. This suggests moderate devolatilization and structural reorganization.

At 600°C, the biochar undergoes more pronounced carbonization, leading to a well-developed porous network with uniformly distributed micropores and larger channels. These features result from intensified devolatilization and breakdown of organic constituents, promoting higher surface roughness and porosity.

Overall, the microstructural differences indicate that higher pyrolysis temperatures enhance pore development and carbonization degree. Both samples demonstrate promising characteristics for environmental applications such as adsorption, catalysis, and soil enhancement, with BCHR 600°C showing superior porosity and surface complexity.

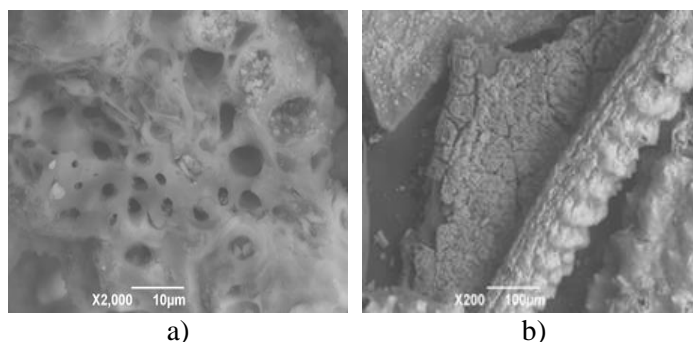


Fig. 4. SEM analys of BCHR 600°C

According to Figure 4, the SEM micrographs (images a and b) of BCHR biochar synthesized at 600°C show notable microstructural changes compared to lower pyrolysis temperatures. The surface morphology indicates a well-developed porous structure with varying pore sizes and visible surface fractures [14,15].

In image (a) (scale bar 10 µm), the surface reveals abundant spherical and oval-shaped micropores, several micrometers in diameter, which are distributed across the matrix. These pores suggest intense devolatilization and thermal degradation of volatile organic compounds, leading to the release of gases and formation of voids. The uniform distribution of such pores enhances the surface area and potential adsorption capacity of the biochar.

Image (b) (scale bar 100 µm) provides a broader view of the surface, showing interconnected channels and larger cracks. These may have originated from the collapse of biomass cell walls due to severe carbonization. The rough and fractured texture, combined with both micro- and macropores, indicates a transition from the original biomass structure to a highly carbonized, porous framework [14,15].

These structural features contribute significantly to the functional performance of the biochar, making BCHR 600°C a promising candidate for applications in water purification, gas adsorption, or as a soil amendment.

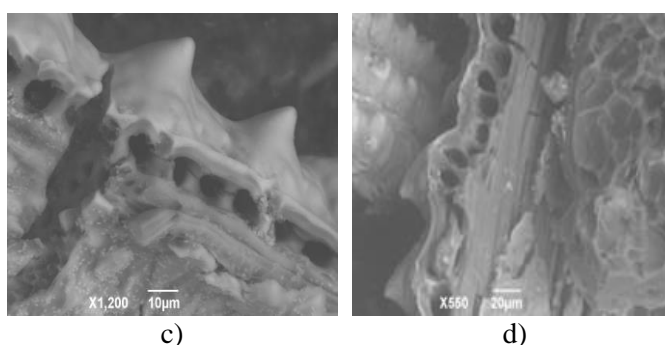


Fig. 5. SEM analys of BCHR 550°C

According to Figure 5, the SEM micrographs (images c and d) of BCHR at 550°C illustrate the structural and morphological transformations that take place during pyrolysis. The images reveal a heterogeneous microstructure characterized by a combination of compact and porous regions.

In image (c), taken at higher magnification (scale bar 10  $\mu\text{m}$ ), the surface shows well-defined porous channels and disrupted cell wall structures, indicating the degradation of the original biomass framework. The presence of microvoids and collapsed pore walls suggests significant thermal decomposition, likely driven by the breakdown of hemicellulose and cellulose components at this temperature.

Image (d), captured at lower magnification (scale bar 20  $\mu\text{m}$ ), demonstrates the overall structural integrity of the biochar matrix. It shows irregularly shaped particles with interconnected macropores and partially preserved anatomical features of the precursor material. These macropores are crucial for enhancing the surface area and adsorption properties of the biochar.

Overall, the observed porous architecture implies that pyrolysis at 550°C leads to a partially preserved but highly porous biochar structure, suitable for applications in adsorption, catalysis, or soil amendment, due to its favorable surface characteristics and porosity.

*Elemental analysis of of BCHR 600°C and BCHR 550°C materials.* To determine the quality and chemical composition of the biochar obtained from rice husk, an elemental analysis was carried out using a G4 ICARUS HF sulfur and carbon. This method is based on combusting the sample in a high-frequency furnace, followed by detection of carbon and sulfur content using infrared sensors.

The results of the two samples are presented in Table 1.

Table 1

Elemental analysis of of BCHR 600°C and BCHR 550°C materials.

Sample	Carbon content, %	Sulfur content, %
BCHR 600°C	7.3309	0.0027
BCHR 550°C	8.9576	0.0067

According to Table 1, elemental analysis revealed carbon contents ranging from 7.33% to 8.96% and sulfur contents from 0.0027% to 0.0067%, indicating enhanced carbonization at higher pyrolysis temperatures, which improves sorption properties. According to the results, the carbon content in BCHR 600°C is 7.33%, which indicates the beginning of the formation of a stable carbon structure. BCHR 550°C contains 8.96% carbon, which is significantly higher. This suggests more efficient carbonization, possibly due to a higher pyrolysis temperature or longer retention time. The higher the carbon content, the better the sorption and reductive properties of the material.

In BCHR 600°C, the sulfur content is 0.0027%, which can be considered a low level. In BCHR 550°C, the sulfur concentration increases to 0.0067%, which is still relatively low but indicates an increase in residual volatile compounds as a result of differences in processing conditions.

In conclusion, the increase in carbon content from 7.33% to 8.96% along with the simultaneous increase in sulfur from 0.0027% to 0.0067% proves that BCHR 550°C was obtained under more aggressive thermochemical conditions (at higher pyrolysis temperature and retention time). This contributed to deeper carbonization but also led to partial preservation or secondary formation of sulfur compounds.

*Optimization of biochar production conditions using Response Surface Methodology (RSM).* Biochar yield was selected as the first response variable to assess the efficiency of the production process. Yield is a critical factor because it reflects the amount of biochar produced from raw agro-industrial waste after thermal and chemical treatment. The experiments were designed using the Box-

Benken method in the Design-Expert program, which allowed three independent factors to be systematically varied: pyrolysis temperature, activation time, and rice husk impregnation ratio and phosphoric acid.

The experimental results showed that the yield varied from X% to Y% depending on the conditions. Analysis of variance (ANOVA) confirmed that the quadratic model used was statistically significant ( $p < 0.05$ ) and the  $R^2$  value was Z, indicating a strong correlation between the predicted and experimental results. The 3D surface plots showed that higher temperatures generally reduced the yield due to increased volatilization, while moderate impregnation ratio and activation time made a positive contribution.

Table 2

Experimental matrix and yield data for biochar production from rice husk via RSM approach

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted $R^2$	Predicted $R^2$	
Linear	0.0021	0.1554	0.6473	0.5294	
2FI	0.2931	0.1620	0.6877	0.5664	
Quadratic	0.0296	0.4165	0.9053	0.5991	Suggested
Cubic	0.4165		0.9285		Aliased

According to Table 2 Model fitting was evaluated through analysis of variance (ANOVA), and the results are presented in Table X. The sequential p-values, lack of fit p-values, adjusted  $R^2$ , and predicted  $R^2$  values were used to assess the suitability of different models (Linear, 2FI, Quadratic, and Cubic) for predicting the biochar yield.

The quadratic model was suggested as the most appropriate based on its statistically significant sequential p-value ( $p = 0.0296$ ), acceptable lack of fit ( $p = 0.4165$ ), and superior adjusted  $R^2$  (0.9053), indicating a good fit to the experimental data. Although the predicted  $R^2$  (0.5991) was slightly lower than the adjusted  $R^2$ , the difference remained within acceptable limits, suggesting adequate predictive performance.

In contrast, the linear and 2FI models, while simpler, showed lower adjusted and predicted  $R^2$  values, and their sequential p-values indicated weaker statistical significance. The cubic model was aliased, indicating overfitting and an insufficient number of degrees of freedom to estimate model coefficients reliably. Therefore, the quadratic model was selected for further analysis and optimization of the biochar production process.

Table 3

Statistical analysis (ANOVA) of the quadratic model for predicting biochar yield

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
1	2	3	4	5	6	7
Model	3745.40	9	416.16	15.87	0.0036	significant
A-Mass of $H_3PO_4$	2483.36	1	2483.36	94.69	0.0002	
B-Temperature	252.45	1	252.45	9.63	0.0268	
C-Time	66.30	1	66.30	2.53	0.1727	
AB	207.65	1	207.65	7.92	0.0374	
AC	72.68	1	72.68	2.77	0.1569	
BC	102.21	1	102.21	3.90	0.1054	
A <sup>2</sup>	161.51	1	161.51	6.16	0.0557	

Table 3 (continued)

1	2	3	4	5	6	7
B <sup>2</sup>	193.61	1	193.61	7.38	0.0419	
C <sup>2</sup>	289.44	1	289.44	11.04	0.0210	
Residual	131.13	5	26.23			
Lack of Fit	91.56	3	30.52	1.54	0.4165	not significant
Pure Error	39.57	2	19.79			
Cor Total	3876.53	14				

Table 3 presents the Model F-value of 15.87 implies the model is significant. There is only a 0.36% chance that an F-value this large could occur due to noise.

p-values less than 0.0500 indicate model terms are significant. In this case A, B, AB, B<sup>2</sup>, C<sup>2</sup> are significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model. The Lack of Fit F-value of 1.54 implies the Lack of Fit is not significant relative to the pure error. There is a 41.65% chance that a Lack of Fit F-value this large could occur due to noise. Non-significant lack of fit is good – it is necessary to fit a model to the research data.

Table 4

Model Fit Statistics for Response Surface Models of Biochar Yield

Std. Dev.	5.12	R <sup>2</sup>	0.9662
Mean	64.51	Adjusted R <sup>2</sup>	0.9053
C.V. %	7.94	Predicted R <sup>2</sup>	0.5991
		Adeq Precision	11.8734

According to Table 4, the Predicted R<sup>2</sup> of 0.5991 is not as close to the Adjusted R<sup>2</sup> of 0.9053 as one might normally expect; i.e. the difference is more than 0.2. This may indicate a large block effect or a possible problem with your model and/or data. Things to consider are model reduction, response transformation, outliers, etc. All empirical models should be tested by doing confirmation runs.

Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 11.873 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

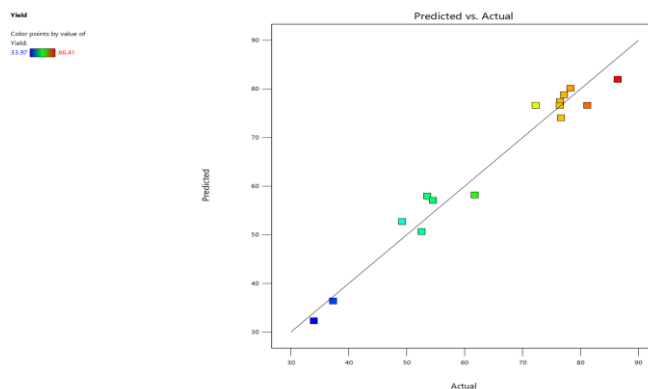


Fig. 8. Predicted vs. actual Response Plot for biochar yield based on the Quadratic Model

As illustrated in Figure 8, a strong correlation exists between experimental and predicted values of biochar yield, indicating the model's reliability. The data points are color-coded based on the yield values, ranging from low yields in blue (~33.97) to high yields in red (~86.41). Most data points lie close to the diagonal line, which represents perfect prediction (i.e., predicted = actual). This indicates a strong agreement between the experimental results and the model predictions. The color gradient (blue to red) also shows a good distribution of predicted responses across the yield range, suggesting that the model is effective across different levels of output. The slight deviations from the line in some points are normal and indicate minor prediction errors, which are acceptable given experimental variation. The plot confirms that the developed model provides a reliable prediction of biochar yield based on the selected parameters (temperature, time, and acid ratio). The high degree of alignment between predicted and actual values supports the accuracy and validity of the model.

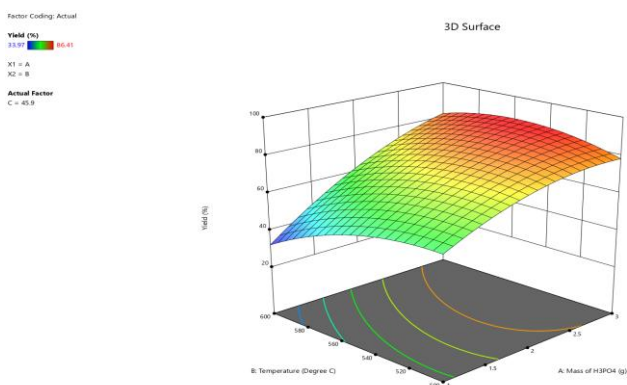


Fig. 9. 3D surface plot of biochar yield as a function of  $H_3PO_4$  mass and pyrolysis temperature

A 3D surface plot in Figure 9 illustrates the combined effect of  $H_3PO_4$  mass (A) and temperature (B) on the biochar yield (%) while keeping the third variable (C) constant at 45.9. The plot shows that increasing both  $H_3PO_4$  mass and temperature generally leads to a higher yield, reaching a peak before slightly decreasing – indicating a non-linear relationship. The curved surface and contour lines at the base indicate significant interaction between the two factors. The maximum yield is observed in the region where both temperature and acid mass are high, but not at their absolute maximum values, which suggests the existence of an optimal point.

A contour plot in Figure 10 shows the effect of  $H_3PO_4$  mass (A) and time (C) on the biochar yield (%), while temperature (B) is held constant at 500°C. As both the acid mass and time increase, the yield also increases, indicated by the shift from blue to orange regions. The highest yield values (close to 86%) are observed in the bottom-right region, where both  $H_3PO_4$  mass and time are high. The concentric contour lines suggest a gradual and consistent improvement in yield with increasing values of both factors. The design points (marked with red dots) show where experiments were conducted.

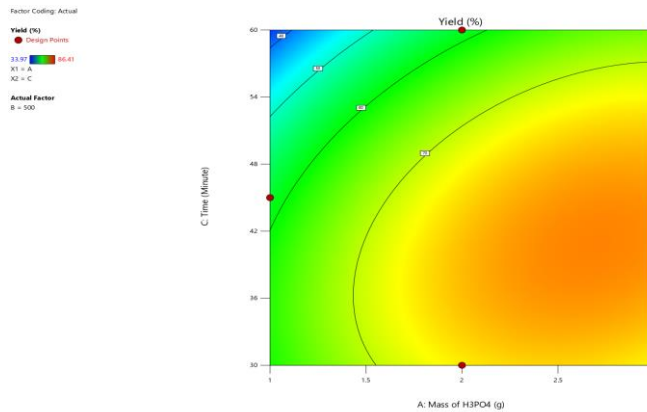


Fig. 10. Contour plot of biochar yield (%) as a function of H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> mass and reaction time at constant temperature

Table 5

Optimization parameters including factor levels and experimental settings for maximizing biochar yield

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:Mass of H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	is in range	1	3	1	1	3
B:Temperature	is in range	500	600	1	1	3
C:Time	is in range	30	60	1	1	3
Yield	maximize	33.97	86.41	1	1	5

The optimization parameters for the process, including variables A, B, and C – which represent the mass of H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, temperature, and time respectively, each constrained within specified lower and upper limits – are presented in Table 5. All three factors have equal importance (3) and equal weights for their limits. The goal for the yield is to maximize it, with a wider importance value (5), indicating it is the most critical factor. The yield ranges from 33.97 to 86.41, reflecting the efficiency of the process under different conditions.

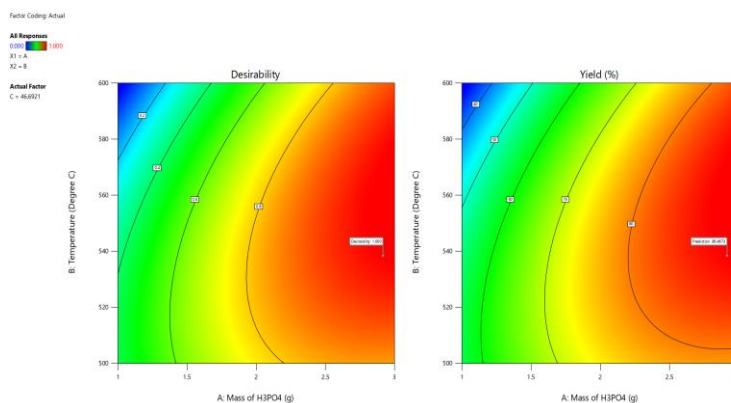


Fig. 11. Point prediction for (a) desirability and (b) yield within optimization range

Figure 11 presents contour plots used to optimize the influence of H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> mass (A) and temperature (B) on two key responses: desirability and biochar yield

(%). The left plot depicts desirability, a composite metric ranging from 0 to 1, where higher values represent more favorable conditions. The optimal desirability (~0.7) is achieved near 2.2 g of H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and 540°C. The right plot illustrates biochar yield, with a maximum around 84% observed in the same region. Both plots indicate that increasing either H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> mass or temperature beyond these optimal points results in decreased desirability and yield, as shown by the transition to lower-value regions. These findings, obtained through response surface methodology (RSM), highlight that the optimal process parameters to maximize biochar production efficiency and overall desirability are approximately 2.2 g of H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and 540°C.

**Conclusion.** This study successfully demonstrated the optimization of biochar production from rice husk, an abundant agro-industrial waste in the Zhambyl region, using Response Surface Methodology (RSM) to enhance its efficacy in Permeable Reactive Barriers (PRBs) for groundwater remediation. The application of the Box-Behnken design facilitated the identification of optimal pyrolysis conditions – specifically, a temperature of 540°C and an H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> mass of 2.2 g – resulting in a maximum biochar yield of approximately 84% with enhanced adsorption properties. FTIR and SEM analyses confirmed the development of a porous structure and functional groups conducive to pollutant removal, while elemental analysis indicated improved carbonization at higher temperatures, with carbon content reaching 8.96% in BCHR 550°C samples. The quadratic model's statistical significance ( $p = 0.0036$ ,  $R^2 = 0.9662$ ) and adequate precision (11.8734) validated its reliability for predicting biochar yield. These results highlight the potential of rice husk-derived biochar as a sustainable, high-performance material for environmental applications, particularly in addressing groundwater contamination. Future research should focus on scaling up production and evaluating long-term performance in real-world PRB systems to further validate its practical utility.

### References

1. Murzagaliyeva M.G., Ashimkhan N.S., Sapiyeva A.O., Tanybayeva A.K., Daribayeva G.T. Research of chemical processes of wastewater treatment // Bulletin of Kazakh University of Technology and Business. – 2024. – P. 166-175.
2. Jetimov M.A., Ybraimzhanova L.K., Bektenov N.A., Kambarova E.A., Mamanova S.A. Wastewater treatment using modified natural sorbents // Bulletin of Kazakh University of Technology and Business. – 2024. – P. 119-129.
3. Ong C.K., Ghazali N.F., Hasbullah H., Ismail A.F., Rahman S.A., Kusworo T.D., Lee C.T. Biomass-based biochar as adsorbent: A mini review of production methods, characterization, and sustainable applications // Chemical Engineering Transactions. – 2024. – Vol. 113. – P. 499-504.
4. Nadarajah K., Asharp T., Jeganathan Y. Biochar from waste biomass, its fundamentals, engineering aspects, and potential applications: An overview // Water Science and Technology. – 2024. – Vol. 89. – No. 5. – P. 1211-1239.
5. Li S., Wu Y., Nie F., Tu W., Li X., Luo X., Luo Y., Fan H., Song T. Remediation of nitrate contaminated groundwater using a simulated PRB system with an La-CTAC-modified biochar filler // Frontiers in Environmental Science. – 2022. – Vol. 10. – P. Article 986866.
6. Sakr M., El Agamawi H., Klammler H., Mohamed M.M. A review on the use of permeable reactive barriers as an effective technique for groundwater remediation // Groundwater for Sustainable Development. – 2023. – Vol. 21. – P. Article 100914.

7. Obiri-Nyarko F., Grajales-Mesa S.J., Malina G. An overview of permeable reactive barriers for in situ sustainable groundwater remediation // *Chemosphere*. – 2014. – Vol. 111. – P. 243-259.
8. Kraber. RSM helps to determine not only the main effects but also the interaction effects between factors. – [?]. – 2023.
9. Mariyam S., Alherbawi M., Pradhan S., Al-Ansari T., McKay G. Biochar yield prediction using response surface methodology: Effect of fixed carbon and pyrolysis operating conditions // *Biomass Conversion and Biorefinery*. – 2024. – Vol. 14. – P. 28879-28892.
10. Design-Expert software [Electronic resource]. – Available at: <https://www.statease.com/software/design-expert/>.
11. Pelleri F.M., Regkouzas P., Manolikaki I., Diamadopoulos E. Biochar production from waste biomass: characterization and evaluation for agronomic and environmental applications // *Detritus*. – 2021. – Vol. 17. – P. 15-29.
12. Qiu M., Liu L., Ling Q., Cai Y., Yu S., Wang S., Fu D., Hu B., Wang X. Biochar for the removal of contaminants from soil and water: A review // *Biochar*. – 2022. – Vol. 4(19).
13. Hossain N., Nizamuddin S., Griffin G., Selvakannan P., Mubarak N.M., Mahlia T.M.I. Synthesis and characterization of rice husk biochar via hydrothermal carbonization for wastewater treatment and biofuel production // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10. – P. Article 18851.
14. Palniandy L.K., Yoon L.W., Wong W.Y., Yong S.T., Pang M.M. Application of biochar derived from different types of biomass and treatment methods as a fuel source for direct carbon fuel cells // *Energies*. – 2019. – Vol. 12. – P. Article 2477.

*This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24992867).*

*Received: 29 August 2025*

*Accepted: 15 September 2025*

**Ұ.Ғ. Қанатбек<sup>1</sup>, Ж.Е. Каримбаева<sup>1</sup>, А.С. Жиенбаева<sup>1</sup>, Е.Қ. Реимбаев<sup>1</sup>,  
А.А. Куртебаева<sup>1</sup>, Kh. Jumbri<sup>2</sup>, С.А. Орынбаев<sup>1</sup>, М.С. Қалмаханова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан*

<sup>2</sup>*Путра университеті, Селангор қ., Малайзия*

#### **ЖАМБЫЛ ӨҢІРІНІҢ АГРОӨНЕРКӘСІПТІК ҚАЛДЫҚТАРЫНАН АЛЫНҒАН БИОЧАР ӨНДІРІСІН КӨПФАКТОРЛЫ МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ ОҢТАЙЛАҒДЫРУ ЖӘНЕ ОНЫ ӨТКІЗГІШ РЕАКТИВТІ ТОСҚАУЫЛДАРДА ПАЙДАЛАНУ**

**Аңдатпа.** Ауыз су ресурстарының ауыр металдармен және органикалық ластағыштармен ластануы қоршаған орта үшін елеулі проблемаға айналуға, әсіресе Жамбыл облысы сияқты өңірлерде, мұндағы су сапасы орташа ластанғаннан бастап жоғары деңгейде ластануға дейін ауытқиды. Бұл зерттеу Жамбыл облысындағы күріш қауызынан алынған биочар өндірісін оңтайландыруға бағытталған және оны жер асты суларының биологиялық тазартылуына арналған өткізгіш реактивті барьерлерде (ӨРБ) қолдану мүмкіндігін арттыру мақсатында жауап бетінің әдісі (Response Surface Methodology, RSM) пайдаланылды. Вох-Бехнкен дизайны негізінде пиролиз процесінің негізгі параметрлері – температура, активация уақыты және күріш қауызымен ортофосфор қышқылының (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) арақатынасы жүйелі түрде өзгертілді. Мақсат – биочардың шығымын және адсорбциялық қабілетін арттыру. Дисперсиялық талдау (ANOVA) нәтижелері квадратиктік модельдің статистикалық

маңыздылығын көрсетті ( $p < 0,05$ ,  $R^2 = 0,9662$ ). Оңтайлы жағдайлар шамамен 2,2 г  $\text{H}_3\text{PO}_4$  және 540°C температурада анықталып, био-көмірдің шығымы 84%-ға дейін жетті. Зерттеу нәтижелері оңтайландырылған биочардың қоршаған ортаны қалпына келтіруде, атап айтқанда ӨРБ жүйелерінде, тұрақты және үнемді материал ретінде қолданылу әлеуетін дәлелдейді.

**Тірек сөздер:** биочар, агроөнеркәсіптік қалдықтар, беткі жауап әдістемесі (БЖӘ), өткізгіш реактивті тосқауылдар (ӨРТ), пиролиз, беткі морфология.

**Ұ.Ғ. Қанатбек<sup>1</sup>, Ж.Е. Каримбаева<sup>1</sup>, А.С. Жиенбаева<sup>1</sup>, Е.Қ. Реимбаев<sup>1</sup>,  
А.А. Куртебаева<sup>1</sup>, Kh. Jumbri<sup>2</sup>, С.А. Орынбаев<sup>1</sup>, М.С. Қалмаханова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Таразский университет им.М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

<sup>2</sup>Университет Путра Малайзия, Селангор қ., Малайзия

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОУГЛЯ ИЗ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ЖАМБЫЛСКОГО РЕГИОНА ПУТЕМ МНОГОФАКТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРОНИЦАЕМЫХ РЕАКТИВНЫХ БАРЬЕРАХ

**Аннотация.** Усиливающееся загрязнение водных ресурсов тяжёлыми металлами и органическими поллютантами представляет собой серьёзную экологическую проблему, особенно в таких регионах, как Жамбылская область Казахстана, где качество воды варьируется от умеренно до крайне загрязнённого. Настоящее исследование направлено на оптимизацию производства биочара из агропромышленных отходов – в частности, рисовой шелухи, собранной в Жамбылском регионе – с применением метода ответной поверхности (Response Surface Methodology, RSM) с целью повышения эффективности материала в составе проницаемых реактивных барьеров (ПРБ) для очистки подземных вод. С использованием экспериментального плана Вох-Бехнкен были систематически варьированы ключевые параметры пиролиза: температура, время активации и соотношение рисовой шелухи к ортофосфорной кислоте ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), чтобы максимизировать выход биочара и его адсорбционную способность. Статистический анализ с применением ANOVA подтвердил значимость квадратичной модели ( $p < 0,05$ ,  $R^2 = 0,9662$ ), при этом оптимальные условия составили около 2,2 г  $\text{H}_3\text{PO}_4$  и 540°C, что позволило достичь выхода до 84%. Полученные результаты подтверждают потенциал оптимизированного биочара как устойчивого и экономически эффективного материала для экологической ремедиации, особенно в системах ПРБ.

**Ключевые слова:** биоуголь, агропромышленные отходы, методология отклика поверхности (МОП), проницаемые реактивные барьеры (ПРБ), пиролиз, морфология поверхности.

IRSTI 61.01.90

A. Azimov<sup>1</sup> – main author, | ©  
A.A. Bolysbek<sup>2</sup>, G.M. Iztleuov<sup>3</sup>



<sup>1</sup>Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <sup>2</sup>Phd, Associate Professor,  
<sup>3</sup>Candidate of Technical Sciences, Professor

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1316-5854> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-8708-2608>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-5722-342X>



<sup>1</sup>Department Chemical Technology of Inorganic Substances, M. Auezov South  
Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<sup>2</sup>Research Laboratory of Innovative Water Purification Systems, M. Auezov South  
Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<sup>3</sup>Department of Ecology, M. Auezov South Kazakhstan University,  
Shymkent, Kazakhstan

@

<sup>3</sup>[gani5@mail.ru](mailto:gani5@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/FXOF3327>

## STUDY OF THE CHEMICAL TECHNOLOGICAL PROCESS FOR OBTAINING HYDROGELS BASED ON ACRYLIC ACIDS

**Abstract.** It is known that one of the main physical and chemical properties of absorbents is their water-absorbing capacity, which depends on the degree of neutralization of the carboxyl groups of the main monomer and the concentration of the cross-linking agent. In this study, novel crosslinking agents based on divinyl quaternary ammonium salts of dialkylaminoalkyl methacrylates (DMAEMA and DEAEMA) with dihalogen compounds (such as 1,2-dibromoethane and 1,3-dichloropropanol) were successfully synthesized and characterized. These salts demonstrated spontaneous polymerization in aqueous and ethanol media at 20-50°C, forming water-soluble products at low conversion levels (8-10%). Further polymerization led to the formation of crosslinked structures. Kinetic studies revealed a first-order reaction with respect to monomer concentration, with the rate significantly increasing as concentration rose from 0.25 to 0.5 mol/L. Furthermore, the detailed technological processes for both crosslinker and hydrogel production were established, including temperature, timing, and purification steps.

**Keywords:** hydrogels, acrylic acids, process for obtaining, swelling dynamics, acrylate hydrogel, technological process.



Azimov A., Bolysbek A.A., Iztleuov G.M. Study of the chemical technological process for obtaining hydrogels based on acrylic acids //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2025. – No.3(89). – P.181-190. <https://doi.org/10.55956/FXOF3327>

**Introduction.** The use of hydrosorbent polymers as moisture adsorbents has been widely developed in agriculture. However, polymer gels have a number of properties, the use of which would allow expanding the areas of their application. The most interesting, from the point of view of practical use, is the behavior of hydrogels in solutions of various polyvalent metals. Polymer hydrogels based on acrylic acid are capable of exchanging ions with soil structures, which was noted in the early stages of the work [1,2].

Cation exchange capacity is one of the functional properties of soil. Cation exchange is a special case of a more general ion exchange in soil, i.e. its ability to absorb and exchange ions at the boundary of two phases. K.K. Gedroits called the part of the soil capable of exchanging calcium and magnesium for ammonium the soil absorption complex [3,4]. The importance of the soil absorption complex is unusually great. It is “the most valuable part of the soil and as it is destroyed, the soil increasingly passes from a set of very complex and comparatively unstable compounds that determine its life into a mixture of simple and stable compounds, i.e. into a dead body”. In this aspect, it is of interest to study the ion exchange properties of materials based on acrylic acid cross-linked with cellulose derivatives [5,6].

At present, ion exchange methods of extraction, purification and separation of complex mixtures have become widespread and have become an integral part of most technological processes and scientific research. With the expansion of the scope of application of ionites, continuously increasing requirements are imposed on them [7,8].

Usually the quality of ionites is characterized by their sorption and physicochemical properties, the study of which is the subject of numerous works by scientists, both domestic and foreign. The efficiency of ion exchange on ionites is determined by a number of factors: the degree of dissociation, ionogenic groups, chemical and thermal resistance, mechanical strength, cost price [9,10].

In this aspect, the synthesis of new water-swelling ionites based on acrylic acid and its derivatives is of interest. There are a large number of works devoted to the synthesis of ionites based on these materials, which differ from some known ion sorbents by greater exchange capacity, stability to high-temperature operating modes, and relative cheapness. In the Republic, acrylic acid derivatives are produced on an industrial scale. From the above it follows that the study of the sorption properties of gels, on the one hand, and the synthesis of new ionites based on acrylates, on the other, is of certain practical and scientific interest [11-14].

**Materials and methods.** In the work, polymers of partially neutralized acrylic acid cross-linked with carboxymethylcellulose were used. Water-absorbing hydrogels are spatially cross-linked natural or synthetic polymers, as well as their compositions, possessing high hydrophilicity capable of retaining a large amount of water in a swollen state 1000-10000 g/g. A number of hydrogels possessing valuable properties were synthesized, the most interesting are polymers of the type Hydrou-1, Hydrou-2 and Hydrou-3. Table 1 presents data on the  $n_{sw}$  properties of these hydrogels.

Table 1

Main characteristics of the obtained hydrogels

Polymer name	Degree of swelling in distilled water (g/g)	Degree of swelling in 1% aqueous NaCl solution (g/g)
Acrylic acid + starch (Hydroyut-1)	500-1000	100-150
Acrylic acid (50-60% saponification) + CMC (Hydroyut-2)	1000-1500	150-200
Acrylic acid (40% saponification) + CMC (Hydroyut-2)	1000-1500	150-200

It should be noted that cationites based on acrylic acid derivatives are particularly distinguished by high sorption activity for non-ferrous metals, and in the early stages of water purification development, ordinary cotton wool was used to sorb heavy metals (for example, lead). This is obviously explained by the structure of the framework of these substances, as well as the presence of characteristic groups included in their composition.

In the practice of ion exchange technology, there are frequent cases of contact of pontoons with hot solutions. An increase in temperature leads to acceleration of diffusion processes during sorption and desorption, to a decrease in the influence of non-exchange sorption forces and to acceleration of reaching equilibrium in the system. Therefore, the thermal stability of ionites is of great practical importance.

In the study of metal sorption by gels, polymer hydrogels based on acrylic acid with a degree of saponification of 10%, 20%, and 30% were used. Saponification was carried out with potassium hydroxide. The amount of crosslinking agent a for all samples was the same, with a ratio of 1:7 relative to the monomer. Some physicochemical characteristics of gels, studied as cation exchangers, are presented in Table 2. Based on literature data, the physicochemical properties of the polymer hydrogels are summarized in Table 3.

Table 2

Physicochemical characteristics of gels

Polymer name	Appearance	Degree of swelling in distilled water (g/g)	Degree of swelling in 1% aqueous NaCl solution (g/g)
Acrylic acid (10% saponification) + CMC	White or yellowish powder	400-450	50-65
Acrylic acid (20% saponification) + CMC	–	500-550	65-70
Acrylic acid (30% saponification) + CMC	–	600-650	70-75

Table 3

Physicochemical properties of polymer hydrogels

Polymer name	Mechanical strength	Bulk weight (g/cm <sup>3</sup> )	Thermostos Bone (SO)	Chemical durability
Acrylic acid (10% saponification) + CMC	Satisfactory in swollen state	0.60	Higher 100	Does not decompose in solutions of alkalis (LO 211) and organic acids
Acrylic acid (20% saponification) + CMC	Satisfactory in swollen state	0.60	Higher 100	Does not decompose in solutions of alkalis (up to 2N) and organic acids
Acrylic k-that (30% saponification) + CMC	Satisfactory in swollen state	0.62	Higher 100	It does not collapse in solutions of alkalis (up to 211) and 1 organic acids

**Research results and discussion.** Monomeric divinyl quaternary salts based on dialkylaminoalkyl acrylates N,N-dimethyl aminoethyl methacrylate (DMAEMA) and N,N-diethylaminoethyl methacrylate (DEAEMA) and dihalogen-containing compounds:  $\alpha$ ,  $\gamma$ -dichloroglycerol and dibromoethane were proposed as crosslinking agents.

It was found that the synthesized salts spontaneously polymerize in aqueous and ethanol solutions at 20-50°C with the formation of water-soluble products only at low (8-10%) conversion degrees. With further polymerization, polymers of a cross-linked structure are formed. In this regard, all kinetic studies were carried out up to 8% conversion. It was established by elemental analysis and PMR spectroscopy that the isolated polymers correspond to monomeric quaternary salts (MQS) in composition and structure. A study of the effect of the initial concentration of monomeric quaternary salts on the polymerization rate showed that with a decrease in the monomer concentration, the rate drops, and below 0.1 mol/l it is completely absent, and with an increase in concentration from 0.25 to 0.5 mol/l it increases 11 times. The salt polymerization reaction is of the first order, which proves the straightening of the kinetic dependences in logarithmic coordinates. The effect of the temperature regime and the nature of the solvent was established. Kinetic curves measured in water and ethanol showed that the reaction rate in water is significantly higher than in ethanol, which is due to its high ionizing capacity. The characteristic viscosity values of the polymers formed change similarly.

At this ratio of crosslinking agent: acrylic acid is 20% saponified carboxyl groups. At this ratio of reagents the polymer is strong, with maximum exchange capacity to most of the metals studied.

During the study, it was found that the polymer grain size has a noticeable effect on the static exchange capacity. With a decrease in grain diameter, the exchange capacity for all the studied metal salt solutions increases accordingly. This effect of grain diameter on exchange properties is obviously associated with the structural features of acrylate hydrogels. Therefore, gels with such a degree of saponification are advantageously used as swelling ion-exchange materials with a small grain diameter.

It has been established, that hydroquinone 2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl does not suppress the reaction, and styrene and methyl methacrylate do not form homoo- and copolymers under the specified conditions with the monomers under study. Thus, based on a set of kinetic studies and the revealed practical absence of influence of inhibitors on polymerization, a zwitter-ionic mechanism of polymerization of the salts under study was proposed.

Further studies were devoted to the synthesis of hydrogels based on AK and its sodium salts using the above-mentioned MChS as crosslinking agents. The synthesis was carried out in an aqueous medium in the presence of an initiator and polymerization of potassium persulfate at a temperature of 40-50°C. The amount of the crosslinking agent varied from 0.1 to 0.5wt% relative to the monomer mass. With an increase in the concentration of the crosslinking agent DMAEMA-DBE, the induction period decreased, and the polymerization rate increased; in all cases, the reaction proceeded to nearly 100% monomer conversion.

Based on the presented experimental and literature data, the formation of three-dimensional networks by the polymerization method can be divided into two stages. At the first stage, a linear copolymer of AA with DMAEMA-DBE or DEAEMA-DBE is formed. These copolymers contain a certain amount of unused double bonds  $C = C$  of the crosslinking agent, which is attached only by one double bond to the main chain. The probability of interaction of the active center with the double bonds of another molecule is not high, while the probability of intramolecular interaction under these conditions is significantly higher. Such interaction leads to the formation of microgels that contain unreacted double bonds and the system still retains solubility. At the second stage, under the action of

radicals, the microgels react with each other, forming insoluble macrogels. The process of radical polymerization occurs according to the classical scheme, supplemented by initiation at the second functional group and chain growth. The proposed polymerization scheme fully corresponds to the experimentally observed dependence of the reaction rate on the concentration of AA and crosslinking agents.

It is known that one of the main physical and chemical properties of absorbents is their water-absorbing capacity, which depends on the degree of neutralization of the carboxyl groups of the main monomer (AM) and the concentration of the cross-linking agent. In this connection, gels based on partially or completely neutralized acid with different degrees of cross-linking were synthesized and their properties were determined. It can be assumed that the conclusions made about the structure of polyacrylic gels equally apply to the corresponding hydrogels based on sodium acrylate.

To identify the relationship between the physicochemical properties, the content of neutralized groups and the concentration of the cross-linking agent, the water absorption of hydrogels was determined at different ratios of the initial reagents. It was found that for the entire series of cross-linking agents obtained, the optimal degree of saponification is 60-90%.

A study of swelling dynamics in deionized water showed that the highest water absorption was observed in samples containing the smallest amount of crosslinking agent. However, it was found that, all other factors being equal, the use of crosslinkers based on o-phthalic acid dichloride and 1,1-dimethyl- or 1,1-diethylaminoethyl methacrylates allowed the preparation of hydrogels with higher water absorption in distilled water. For instance, a gel with 0.1 % DMAEMA-DBE absorbed up to 1000 g of water per gram of polymer, whereas a gel with DMAEMA-DCH at the same concentration swelled up to 1600 g/g. This difference can likely be explained by variations in the chain lengths of crosslinking agents between vinyl groups. Under laboratory conditions, a hydrogel based on sodium polyacrylate and DMAEMA-DCH demonstrated a water absorption capacity of 5000 g/g in deionized water. Further reduction in the concentration of the crosslinking agent may yield samples with an even higher equilibrium swelling degree; however, such polymers exhibit unsatisfactory mechanical strength in the swollen state.

Thus, the above-listed features of the synthesized hydrogels allowed us to recommend them for use in arid zone agriculture, as well as for solving water and economic problems. The physical effect of hydrogels on soil moisture capacity and plant development is that the gel particles located in the soil pores swell when moisture enters, prolonging its stay in the soil and then transferring it to plants, in addition, the use of gels contributes to greater plant resistance to water stress and drought. The use of hydrogels allows for significant water savings, which allows them to be recommended for implementation in industrial production (Table 4).

Characteristics of manufactured products. The hydrogel is obtained from the reaction of partially saponified acrylic acid with a divinyl monomer salt derived from dialkylaminoethyl methacrylate and either dibromoethane or dichloroethane. Primary application: the hydrogel is intended for use as a moisture absorbent and as a skin-filling composition. Product properties. Color: white to light yellow

Table 4

Proportions of starting materials for obtaining crosslinking agents

Components	Crosslinking agent			
	1	2	3	4
Dimethylaminoethyl methacrylate	160		312	-
Diethylaminoethyl methacrylate	-	175	-	375
Dibromoethane	52	52	-	-
Dichloroethane	-	-	101	101
Hydroquinone	12	12	12	12
Dimethylformamide	200	200	250	250

*Description of the technological process.* The process of obtaining the crosslinking agent is carried out periodically as follows: the required amount of DMF was charged from vertical collector 1 into the cooled reactor 5, followed by DMAEMA (DEAEMA) from the tank 2. Hydroquinone, weighed on the scales 4, was then added. Then, while stirring, the required amount of DBE or DCE was gradually added from the collector 3. The temperature is maintained at approximately  $-10^{\circ}\text{C}$ . After the monomers are completely consumed, mixing was continued for another 3 hours. After this, the solution entered the crystallizer bath. Cooling brine was supplied to the jacket of the crystallizer bath and the reactor. A water-ammonium nitrate mixture was used as brine in a 5:3 ratio. The solution in the crystallizer bath was maintained for 4 days at a temperature of  $-5$  to  $-10^{\circ}\text{C}$ . The solution was then filtered under vacuum using filter 7, and the filtrate was sent for regeneration. The filtered crystals were transferred to a mixing device (washer) using a tray. During mixing, the SA crystals were washed with the required amount of acetone for 30 minutes, after which they were subjected to vacuum filtration using a Nutsche filter 10. The resulting crosslinking agent was moved to a TsVSh-24 vacuum drying cabinet (12) using tray 11. Drying was carried out for 24 hours at  $15-20^{\circ}\text{C}$  under a residual pressure of 20 mm Hg. Finally, the crosslinking agent was packed in polyethylene containers and stored at  $0-+5^{\circ}\text{C}$  (Table 5).

Table 5

Standards for the technological process of crosslinking agent synthesis

Operation name	Duration	Temperature, $^{\circ}\text{C}$	Pressure, hPa	Quantity reagent
1	2	3	4	5
Loading into the reactor				
DMF	5 min	$-5$ $+$ $-10$	1010.8	47.2
DEAEMA	5 min	$-5$ $+$ $-10$	Same	39,00
hydroquinone	5 min	$-5$ $+$ $-10$	Same	3.1
2 Stirring	15 min	$-5$ $+$ $-10$	1010.8	-
3 Loading DBE	90 min	$-5$ $+$ $-10$	1010.8	24.00
4 Mixing	180 min	$-5$ $+$ $-10$	Same	20.5
Draining the solution into a vacuum crystallizer	10-15 min	$-5$ $+$ $-10$	1010.8	-
6 Holding in a crystallizer bath	64 hours	Same	Same	-
7 Unloading from the crystallizer and loading into the Nutsche filter	30 min	0	1010.8	
8 Filtration under vacuum	60 min	15	824.6	
9 Unloading the product onto a Nutsche filter	30 min	15-20		

Table 5 (continued)

1	2	3	4	5
10 Loading the product into the washer	20 min	20		
11 Rinsing with acetone	60 min	20	1010.8	180
12 Unloading the product into the nutsch filter	30 min	20		
13 Filtration under vacuum	60 min		824.6	
14 Unloading from the Nutsche filter	20 min			
15 Loading in vacuum drying camera	20 min			
16 Vacuum drying	day	20	26.6	
17 Unloading from A	30 min	20	1010.8	-
18 Packing CA	40 min	20	1010.8	-

*Technological process for producing acrylate hydropolymer (Table 6).* Proportions of the initial monomers for obtaining acrylate hydropolymer: Acrylic acid – 45; 50% sodium hydroxide solution – 35; crosslinking agent – 0.02; initiator – 0.03; water – 65.

Table 6

Standards for the technological mode of obtaining hydrogel

Name operations	Time	Temperature, °C	Quantity downloadable component, kg
1. Loading (into the reactor)			
Acrylic acids	5 min	20	70
Caustic soda	5 min	20	95
water	5 min	20	80
Persulfate potassium	5 min	20	0,1
Stitching agent	5 min	20	0.07
2. Stirring	30 min	20	
3. Draining the mixture into the mixer	5 min	20	1/3 volume
4. Stirring with heating	60 min	60	-
5. Unloading	30 min	30	-
6. Loading into a Nutsche filter and vacuuming	120 min	30	
7. Rinsing with water	120 min	30	
8. Unloading from the Nutsche filter and loading into the drying chamber	60 min	30	-
9. Drying	48 hours	50	-
10. Unloading from the drying chamber	30 min	25	-
11. Crushing	120 min	25	“
12. Sifting	120 min	25	
13. Packaging	60 min	25	

*Description Of The Technological Process.* The technological process of obtaining acrylate hydrogel is carried out periodically. In accordance with the given scheme, the required amount of caustic soda, acrylic acid and water are fed into the reactor with a frame mixing device 5 (gravity flow) from collectors 1-3, equipped with a dosing device. Then the prescribed amount of the initiator and crosslinking agent, weighed on scales, is added. Mixing in the reactor is carried out

at 25°C for 30 minutes. Then the reaction mass is fed to a Werner-Pfleifer mixer. The volume of the solution loading is 1/3 of the reactor volume due to strong foaming at the initial stage of polymer formation. Heating of the mixer is carried out by a tubular electric heater. The temperature during the gelation process is maintained at 60°C. The gelation process continues for 60 minutes, after which the obtained hydrogel is unloaded into the tray 7 by tilting the mixer using a special mechanism equipped with an individual drive. Then the hydrogel is loaded into the Nutsche filter 8. The hydrogel is washed with water until a neutral reaction is achieved for 1-2 hours and dried under vacuum. The resulting wash water enters the ion exchange column 9, after purification the water is again fed into the Nutsche filter 8 using a pump 10. The washed hydrogel is unloaded into a tray 11 and transferred for drying into a heating circulation dryer 12 of the SP 32 type. At a temperature of 50°C the hydrogel is dried for 24-48 hours until the residual moisture content is 0.2%. The dried hydrogel is fed to a crusher 13 for grinding and then to a vibrating screen 14 for separation into fractions. The resulting finished hydrogel is weighed on scales 15 and fed for packaging into polyethylene containers.

**Conclusion.** In this study, novel crosslinking agents based on divinyl quaternary ammonium salts of dialkylaminoalkyl methacrylates (DMAEMA and DEAEMA) with dihalogen compounds (such as 1,2-dibromoethane and 1,3-dichloropropanol) were successfully synthesized and characterized. These salts demonstrated spontaneous polymerization in aqueous and ethanol media at 20-50°C, forming water-soluble products at low conversion levels (8-10%). Further polymerization led to the formation of crosslinked structures. Kinetic studies revealed a first-order reaction with respect to monomer concentration, with the rate significantly increasing as concentration rose from 0.25 to 0.5 mol/L. The synthesized crosslinkers were applied to produce hydrogels based on acrylic acid and its sodium salts. The polymerization followed a two-stage mechanism, forming microgels in the first stage and insoluble macrogels in the second, governed by radical polymerization principles. The swelling behavior of the hydrogels depended on both the degree of neutralization of carboxylic groups and the concentration of the crosslinking agent. Optimal swelling was observed at 60-90% neutralization, with lower crosslinker content yielding higher water absorption. Hydrogels crosslinked with DMAEMA-DXG showed superior performance, absorbing up to 5000 g of deionized water per gram of polymer. The resulting hydrogels demonstrate strong potential for agricultural applications, particularly in arid zones. Their ability to retain and gradually release water enhances soil moisture retention and plant resilience under water stress. Furthermore, the detailed technological processes for both crosslinker and hydrogel production were established, including temperature, timing, and purification steps. These hydrogels offer promising prospects for scaling up in industrial settings due to their favorable water-absorbing capacity and environmentally beneficial application.

#### References

1. Bolysbek A.A., Azimov A., Iztleuov G.M., Djalilov A.T., Shirinov S.D. Hydrogel based on starch, acrylamide and kaoline // *Rasayan Journal of Chemistry*. – 2024. – Vol. 17. – No. 3. – P. 848-854.
2. Dhiman J., Prasher S.O., ElSayed E., Patel R.M., Nzediegwu C., Mawof A. Effect of hydrogel based soil amendments on heavy metal uptake by spinach grown with wastewater irrigation // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – Vol. 311. – P. 127644.

3. Di Martino A., Ozaltin K., Hua L.S., Prianto A.H., Rochima E., Farobie O., Fatriasari W. Lignin-based hydrogels for application in agriculture: A review // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2025. – Vol. 306, Part 4. – P. 141744.
4. Fayshal M.A. Current practices of plastic waste management, environmental impacts, and potential alternatives for reducing pollution and improving management // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10. – No. 23. – P. e40838.
5. Kannazarova Z., Juliev M., Abuduwaili J., Muratov A., Bekchanov F. Drainage in irrigated agriculture: Bibliometric analysis for the period of 2017–2021 // *Agricultural Water Management*. – 2024. – Vol. 305. – P. 109118.
6. Kumar B., Singh N., Kumar P. A review on sources, modification techniques, properties and potential applications of alginate-based modified polymers // *European Polymer Journal*. – 2024. – Vol. 213. – P. 113078.
7. Kumar D., Gupta R.K. Natural polymers-humic acid and lignin based hydrogels: In agriculture, environment and energy storage // *Industrial Crops and Products*. – 2024. – Vol. 219. – P. 119029.
8. Lang Z., Yan S., Zhu Q. Water retention and sustained release of magnesium-based biochar modified hydrogel composite materials // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2023. – Vol. 11, No. 6. – P. 111380.
9. Li S., Ma C., Liu R., Chen M., Yan J., Wang Z., Duan S., Zhang H. Super-absorbent swellable polymer as grouting material for treatment of karst water inrush // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2021. – Vol. 31, No. 5. – P. 753-763.
10. Miroshnichenko D., Lebedev V., Lebedeva K., Cherkashina A., Petrushenko S., Bogoyavlenska O., Olkhovska A., Hrubnyk I., Maloshtan L., Klochko N. Thermosensitive and wound-healing gelatin-alginate biopolymer hydrogels modified with humic acids // *Journal of Renewable Materials*. – 2024a. – Vol. 12, No. 10. – P. 1691-1713.
11. Miroshnichenko D., Zhylyna M., Shmeltser K. Modern use of biochar in various technologies and industries. A review // *Chemistry and Chemical Technology*. – 2024b. – Vol. 18, No. 2. – P. 232-243.
12. Mondéjar-López M., García-Simarro M.P., Navarro-Simarro P., Gómez-Gómez L., Ahrazem O., Niza E. A review on the encapsulation of “eco-friendly” compounds in natural polymer-based nanoparticles as next generation nano-agrochemicals for sustainable agriculture and crop management // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2024. – Vol. 280, Part 3. – P. 136030.
13. Mutmainna I., Gareso P.L., Suryani S., Tahir D. Can agriculture and food waste be a solution to reduce environmental impact of plastic pollution? Zero-waste approach for sustainable clean environment // *Bioresource Technology*. – 2025. – Vol. 420. – P. 132130.
14. Nath P.C., Sharma R., Debnath S., Sharma M., Inbaraj B.S., Dikkala P.K., Nayak P.K., Sridhar K. Recent trends in polysaccharide-based biodegradable polymers for smart food packaging industry // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2023. – Vol. 253, Part 8. – P. 127524.

*This research is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR24993129).*

*Received: 20 July 2025*

*Accepted: 20 September 2025*

А. Азимов<sup>1</sup>, А.А. Болысбек<sup>1</sup>, Г.М. Изтлеуов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан

### АКРИЛ ҚЫШҚЫЛДАРЫ НЕГІЗІНДЕ ГИДРОГЕЛЬДЕРДІ АЛУДЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа.** Сіңіргіштердің негізгі физика-химиялық қасиеттерінің бірі – олардың су сіңіру қабілеті екені белгілі, ол негізгі мономердің карбоксил топтарының бейтараптану дәрежесіне және тігуші агенттің концентрациясына байланысты. Осы зерттеуде диалкил-аминоалкилметакрилаттардың (DMAEMA және DEAEMA) дивинилді төртіншілік аммоний тұздары негізінде, дигалогенді қосылыстармен (мысалы, 1,2-дибромэтан және 1,3-дихлорпропанол) жаңа тігуші агенттер сәтті синтезделіп, сипатталды. Бұл тұздар 20-50°C температура аралығында су және этанол ортасында өздігінен полимерлену қабілетін көрсетті, төмен конверсия деңгейінде (8-10%) су ерітіндісінде еритін өнімдер түзді. Полимерленудің ары қарай жүруі тігілген құрылымдардың түзілуіне алып келді. Кинетикалық зерттеулер мономер концентрациясына қатысты бірінші ретті реакцияны көрсетті, әрі концентрация 0,25-тен 0,5 моль/л-ге артқан сайын реакция жылдамдығы айтарлықтай өсті. Сонымен қатар, тігуші агенттер мен гидрогельдер өндірудің толық технологиялық процестері – температуралық режим, уақыт және тазарту сатылары – анықталды.

**Тірек сөздер:** гидрогельдер, акрил қышқылдары, алу процесі, ісіну динамикасы, акрилат гидрогелі, технологиялық процесс.

А. Азимов<sup>1</sup>, А.А. Болысбек<sup>1</sup>, Г.М. Изтлеуов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

### ИЗУЧЕНИЕ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АКРИЛОВЫХ КИСЛОТ

**Аннотация.** Известно, что одним из основных физико-химических свойств абсорбентов является их водопоглощающая способность, которая зависит от степени нейтрализации карбоксильных групп основного мономера и концентрации сшивающего агента. В данном исследовании были успешно синтезированы и охарактеризованы новые сшивающие агенты на основе дивинильных четвертичных аммониевых солей диалкил-аминоалкилметакрилатов (DMAEMA и DEAEMA) с дигалогенсодержащими соединениями (такими как 1,2-дибромэтан и 1,3-дихлорпропанол). Эти соли проявляли способность к самопроизвольной полимеризации в водной и этанольной средах при 20-50°C, образуя водорастворимые продукты на низких степенях конверсии (8-10%). Дальнейшая полимеризация приводила к образованию сшитых структур. Кинетические исследования показали реакцию первого порядка по концентрации мономера, причем скорость значительно возрастала при увеличении концентрации с 0,25 до 0,5 моль/л. Кроме того, были разработаны детальные технологические процессы как для получения сшивателей, так и гидрогелей, включая температурный режим, продолжительность и этапы очистки.

**Ключевые слова:** гидрогели, акриловые кислоты, способ получения, динамика набухания, акрилатный гидрогель, технологический процесс.

МРНТИ 61.31.57: 70.25.17

Ш.М. Умбетова<sup>1</sup> – основной автор, ©  
Н.О. Аппазов<sup>2</sup>, Х.Р. Садиева<sup>3</sup>, Д.Ж. Ниязова<sup>4</sup>,  
И.Д. Еспанова<sup>5</sup>, М.Б. Копен<sup>6</sup>, Ө.С. Баймаханов<sup>7</sup>



<sup>1</sup>Канд. техн. наук, <sup>2</sup>Канд. хим. наук, профессор, <sup>3</sup>Канд. техн. наук, ассоц. профессор, <sup>4,5,6,7</sup>Докторант

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-7716-9822> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-8765-3386>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-8925-8053> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-2698-1209>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0003-0721-1794> <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0001-9982-0428>  
<sup>7</sup><https://orcid.org/0009-0008-1949-2275>



<sup>1,2,4,5,6,7</sup>Кызылординский университет им. Коркыт Ата,  
г. Кызылорда, Казахстан

<sup>3</sup>Таразский университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан



<sup>1</sup>[umbetova-37@mail.ru](mailto:umbetova-37@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/PVEN9913>

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ

**Аннотация.** В данной работе рассматривается разработка технологии доочистки сточных вод с использованием природных сорбентов, а также проводится сравнительный анализ эффективности активированного угля из различных видов рисовых отходов. Особое внимание уделяется инновационному способу доочистки сточных вод, аккумулируемых в прудах-накопителях, с целью их безопасного применения для полива древесных насаждений и кормовых культур. Предложенная технология включает фильтрацию через активированный уголь из рисовой шелухи, аэрацию и использование биопрепарата «Биогексен» для повышения качества очистки.

**Ключевые слова:** доочистка, сорбент, сточная вода, пруд-накопитель, активированный уголь, технология.



Умбетова, Ш.М. Разработка технологии доочистки сточных вод с использованием природных сорбентов [Текст] / Ш.М. Умбетова, Н.О. Аппазов, Х.Р. Садиева, Д.Ж. Ниязова, И.Д. Еспанова, М.Б. Копен, Ө.С. Баймаханов // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.191-198. <https://doi.org/10.55956/PVEN9913>

**Введение.** Современные экологические вызовы требуют эффективных и устойчивых решений в области очистки сточных вод. Одним из перспективных направлений является использование природных сорбентов, таких как активированный уголь, полученный из агропромышленных отходов.

Исследования, проведенные в Кызылординском регионе, показали, что сточные воды городской канализации характеризуются высоким содержанием ионов кальция (7,2 мг/л), магния (9,6 мг/л) и хлоридов (5,79 мг/л), а также слабощелочной реакцией среды (рН в пределах 6,8-7,6). Эти параметры указывают на потенциальную агрономическую ценность таких

вод, особенно для орошения технических, кормовых и древесных культур [1-6].

Однако, согласно критериям оценки вод по соотношению катионов, предложенным М.Ф. Будановым, при минерализации до 1 г/л необходимо соблюдать определённый баланс между ионами натрия, кальция и магния. Превышение отношения  $Na^+/Ca^{2+}$  выше единицы, зафиксированное в пробах, указывает на риск осолонцевания почв. Для предотвращения этого процесса рекомендуется предварительное известкование воды или гипсование почвы.

Дополнительно, содержание хлоридов в исследованных пробах варьировалось от 113,6 до 205,9 мг/л, что может привести к хлоридному засолению. В связи с этим необходимо организовать регулярный мониторинг солевого состава почвы и, при необходимости, разбавлять сточные воды более качественной водой, чтобы содержание хлоридов не превышало 140 мг/л.

Несмотря на потенциальные риски, использование сточных вод может способствовать повышению плодородия почвы: содержание гидролизуемого азота увеличивается на 7%, а обменного калия – на 11%. Однако отмечается тенденция к осолонцеванию, что требует обязательного проведения мелиоративных мероприятий.

Первичный анализ пригодности очищенных сточных вод для полива древесных насаждений в Кызылорде показал, что они могут быть использованы в сельском хозяйстве при соблюдении следующих условий:

- постоянный контроль за солевым составом почвы;
- проведение гипсования при необходимости.

Глубокая очистка позволяет эффективно удалять соединения азота и фосфора. Так, механическая очистка снижает содержание этих элементов на 8-10%, биологическая – на 35-50%, а глубокая – до 98-99%. Для удаления аммиака применяются методы отдувки в щелочной среде, ионный обмен, гиперфильтрация, электролиз и биохимическое восстановление нитратов до молекулярного азота. Эффективность отдувки аммиака достигает 90%.

Одной из наиболее актуальных задач остаётся удаление ионов тяжёлых металлов (ИТМ), таких как медь, железо, цинк, алюминий и марганец, которые даже в низких концентрациях оказывают токсическое воздействие на экосистемы и нарушают работу биологических очистных сооружений. Средние концентрации ИТМ в сточных водах после биологической очистки могут превышать допустимые нормы в несколько раз.

Существующие методы осаждения ИТМ, включая биологические и химические, не всегда обеспечивают достижение нормативных значений. Поэтому особое внимание уделяется разработке эффективных сорбентов.

Несмотря на разнообразие сорбционных материалов, на практике отсутствует универсальный, доступный и эффективный сорбент для удаления ИТМ. Это связано как с экономическими факторами, так и с ограниченным ассортиментом материалов, способных работать при низких концентрациях загрязнителей.

Особый интерес представляют наночастицы серебра, обладающие высокой каталитической и биоцидной активностью. Однако они склонны к агрегации, что снижает их эффективность. Для стабилизации наночастиц применяются полимерные матрицы, образующие металлополимерные нанокомпозиты. Такие материалы сочетают в себе высокую активность

наночастиц и устойчивость к агрегации, а также легко масштабируются в промышленном производстве.

Пруды-накопители широко используются для хранения сточных вод, однако их качество зачастую не соответствует требованиям, предъявляемым к воде для полива. Без предварительной доочистки такие воды могут нанести вред почвам и растениям. В связи с этим разработка эффективной, экономичной и экологически безопасной технологии доочистки сточных вод является приоритетной задачей.

Учитывая необходимость доведения качества сточных вод до нормативных показателей для их безопасного использования в сельском хозяйстве, была разработана технологическая схема доочистки, сочетающая простоту реализации и высокую эффективность. Основу метода составляет использование природных сорбентов и биологических компонентов, обеспечивающих комплексное удаление загрязняющих веществ.

**Условия и методы исследования.** Предлагаемая технология доочистки сточных вод включает последовательность этапов, направленных на повышение эффективности удаления загрязняющих веществ с использованием природных сорбентов и биологических методов. Процесс включает:

1. Первичное отстаивание – забор воды из пруда-накопителя и подача в приёмный резервуар для осаждения крупных взвешенных частиц.

2. Сорбционная фильтрация – пропускание воды через фильтр с активированным углём, полученным из рисовой шелухи. Благодаря высокой удельной поверхности сорбент эффективно удаляет органические и неорганические загрязнители.

3. Аэрация – насыщение воды кислородом с помощью компрессора, что способствует активации аэробных биохимических процессов.

4. Биологическая обработка – внесение органического препарата «Биогексен», способствующего разложению органических соединений, снижению биохимического и химического потребления кислорода, а также устранению запахов.

5. Накопление очищенной воды – сбор обработанной воды в резервуарах объёмом до 25 м<sup>3</sup>.

6. Повторное использование – подача очищенной воды на орошение сельскохозяйственных культур через систему трубопроводов и арыков.

В отличие от известных установок биологической очистки предложенная система:

- проста в монтаже и эксплуатации;
- не требует сложных реагентов;
- может использоваться автономно вне централизованных очистных сооружений;
- адаптирована к условиям сельского хозяйства и малых населённых пунктов.

На рисунке показана I технологическая схема доочистки сточных вод.

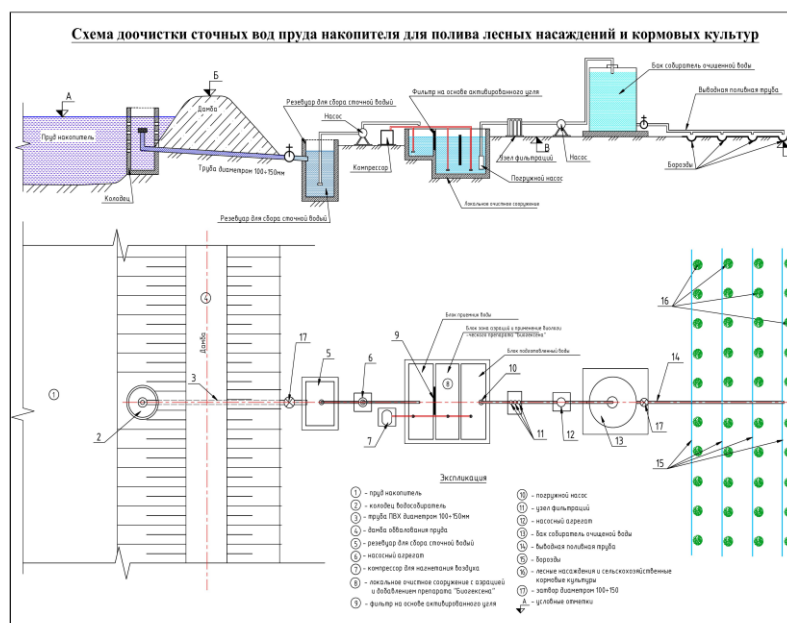


Рис.1. Технологическая схема доочистки сточных вод

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для исследования были отобраны пробы канализационных сточных вод до и после их прохождения через слой активированного угля. Основные параметры, подлежащие анализу, включают: концентрацию органических веществ, содержание тяжелых металлов, мутность, уровень pH.

Процесс очистки осуществлялся путем пропускания канализационных сточных вод через колонку, заполненную активированным углем из рисовой шелухи [7-8]. Контрольные пробы брались до и после проведения очистки для дальнейшего анализа, результаты анализа канализационной сточной воды до и после их очистки активированным углем, приведен ниже в таблице 1. Этот метод направлен на снижение концентраций загрязняющих веществ в сточных водах для улучшения их экологической безопасности и дальнейшего использования.

**1. Отбор и анализ сточных вод.** На первом этапе были отобраны пробы сточных вод, содержащие ионы тяжёлых металлов ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ), а также органические и неорганические загрязнители. Для определения состава использовались методы спектрального анализа, что позволило установить начальные концентрации загрязняющих веществ.

**2. Разработка и подготовка сорбентов.** Активированный уголь из рисовой шелухи. Рисовая шелуха подвергалась карбонизации и активации, в результате чего получался сорбент с высокой удельной поверхностью и развитой пористой структурой. В некоторых вариантах он модифицировался серебродержащими компонентами для повышения сорбционной активности.

**3. Проведение очистки и анализ результатов.** Процесс очистки осуществлялся путём пропускания сточных вод через колонки, заполненные активированным углём. Контрольные пробы отбирались до и после фильтрации. Анализ включал измерение следующих параметров:

- цветность;
  - pH;
  - жесткость;
  - щелочность;
  - содержание аммония, кальция, магния, железа, меди, алюминия;
  - минерализация, фосфаты, нитраты, нитриты и др.
- Эффективность удаления загрязнителей приведена в таблице 1.

Таблица 1

Результаты анализа канализационной сточной воды до и после их очистки активированным углем

Показатель	До очистки (мг/дм <sup>3</sup> )	После очистки (мг/дм <sup>3</sup> )	Изменение и снижение в %
Цветность (градусы)	510	600	↑ (возможно, из-за вымывания частиц)
pH	8,05	7,65	↓ 4,97% (приближение к нейтральной среде)
Жесткость (°Ж)	8,1	7,8	↓ 3,70 %
Щелочность	11,20	10,60	↓ 5,36%
Аммоний	20,90	19,90	↓ 4,78%
Кальций (мг/дм <sup>3</sup> )	60	6	↓ 90,00%значительно
Магний (мг/дм <sup>3</sup> )	32,4	62,4	↑ 92,59% (возможен ионный обмен)
Железо (мг/дм <sup>3</sup> )	2,3	1,4	↓ 39,13%
Медь (мг/дм <sup>3</sup> )	0,9	0,6	↓ 33,33%
Алюминий (мг/дм <sup>3</sup> )	48,7	32,3	↓ 33,68%
Сульфаты (мг/дм <sup>3</sup> )	0,27	0,20	↓ 25,93%
Хлориды (мг/дм <sup>3</sup> )	45	10,8	↓ 76,00% существенно
Нитраты	0,33	0,31	6,06%
Нитриты	0,146	0,143	2,05%
Карбонаты	48,00	36,00	25,00%
Гидрокарбонаты	524,60	512,40	2,33%
Полифосфаты	0,164	0,106	35,37%
Ортофосфаты (мг/дм <sup>3</sup> )	8,1	4,4	↓ 45,68%
Минерализация (мг/дм <sup>3</sup> )	2,04	1,61	↓ 21,08%

Проведённые исследования показали, что после прохождения всех этапов доочистки наблюдается заметное улучшение качества воды. Концентрации большинства загрязняющих веществ, включая тяжёлые металлы, существенно снизились. Это подтверждает эффективность предложенной технологии.

Отмечено улучшение цветности и прозрачности воды, что свидетельствует о снижении содержания взвешенных частиц. Показатель pH изменился с 8,05 до 7,65, приближаясь к нейтральному значению, что указывает на мягкую нейтрализацию среды. Общая жёсткость снизилась с 8,1 до 7,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>, что может быть связано с частичным удалением солей кальция и магния.

Щелочность уменьшилась с 11,2 до 10,6 ммоль/дм<sup>3</sup>, а содержание аммония снизилось с 20,9 до 19,9 мг/дм<sup>3</sup>, что говорит о частичном удалении аммонийных соединений. Особенно заметно снижение концентрации кальция

– с 60 до 6 мг/дм<sup>3</sup>, что подчёркивает высокую эффективность сорбента. Однако содержание магния, напротив, увеличилось, вероятно, из-за ионного обмена с фильтрующим материалом.

Концентрации железа, меди и алюминия также снизились, что подтверждает адсорбционные свойства активированного угля. Содержание сульфатов и хлоридов уменьшилось, особенно хлоридов – с 45 до 10,8 мг/дм<sup>3</sup>. Нитраты и нитриты изменились незначительно, что может свидетельствовать о слабом взаимодействии с сорбентом.

Снижение содержания карбонатов и гидрокарбонатов привело к уменьшению щелочности. Концентрации полифосфатов и ортофосфатов также снизились, особенно последних – почти в два раза, что способствует снижению риска эвтрофикации.

Общая минерализация воды уменьшилась с 2,04 до 1,61 мг/дм<sup>3</sup>, что является положительным итогом, указывающим на общее улучшение качества воды после очистки. Таким образом, очистка с использованием активированного угля из рисовой шелухи показала высокую эффективность в удалении тяжёлых металлов, фосфатов и хлоридов. Однако наблюдалось увеличение содержания магния, что может быть связано с ионным обменом между сорбентом и водой.

**Заключение.** Разработанная технология доочистки сточных вод с использованием природных сорбентов на основе агропромышленных отходов, таких как рисовая шелуха, продемонстрировала высокую эффективность и экологическую безопасность. Особенно перспективным оказался активированный уголь из рисовой шелухи, обладающий высокой удельной поверхностью и отличными сорбционными характеристиками, что позволяет эффективно удалять как органические, так и неорганические загрязнители.

Разработанная система доочистки сточных вод включает последовательные этапы: первичное отстаивание, фильтрацию через активированный уголь из рисовой шелухи, аэрацию, биологическую обработку препаратом «Биогексен», накопление очищенной воды и её последующее использование для полива сельскохозяйственных культур. Такой подход обеспечивает не только эффективное удаление загрязняющих веществ, но и рациональное повторное использование воды.

Таким образом, предложенная технология представляет собой доступное, экологически безопасное и адаптивное решение для локальной очистки сточных вод. Её внедрение способствует устойчивому водопользованию в аграрных экосистемах, снижая нагрузку на природные водные ресурсы и повышая экологическую устойчивость сельскохозяйственного производства.

#### Список литературы

1. Shomantayev A.A., Shegenbayev A.T., Otarbayev B.S., Daldabayeva G.T., Saktaganova N.A., Bulanbayeva P. Irrigation technology for tree crops wastewater from the city of Kyzylorda // Bulletin of Kyzylorda University named after Korkyt Ata. – 2024. – No. 2 (69). – P. 231-239.
2. Umbetova S., Abylkassova G., Spitsov D. Comparative study of wastewater treatment efficiency: ozone vs. atmospheric oxygen with a manganese dioxide catalyst // Water Quality Research Journal. – 2024. – P. wqj2024033.
3. Syaole C., Kely C., Inhao. Properties, Applications And Methods Of Nanosilver Preparation // International Students' Scientific Newsletter. – 2018. – No. 6.

4. Radzhabov U.R., Shuhrazoda M., Yermamodova S.G., Kozizonov A.U. Coordination compound of silver (I) with metrotazil // Inorganic Chemistry Journal. – 2018. – Vol. 61. – No. 2. – P. 176-180.
5. Sabad-e-Gul S., Waheed S., Ahmad A., Khan S.M., Hussain M., Jamil T., Zuber M. Synthesis, characterization and permeation performance of cellulose acetate/polyethylene glycol-600 membranes loaded with silver particles for ultra low pressure reverse osmosis // J. Taiwan Inst. Chem. Eng. – 2015. – Vol. 57. – P. 129-138.
6. Umbetova Sh.M. Ochistka prirodnykh i stochnykh vod [Treatment of natural and wastewater]: monograph. – Baku: AzASU, 2025. – 250 p. [in Russian].
7. Utility model patent No. 2025/0258.2. Method for obtaining granular activated carbon from rice husk. – [?].
8. Utility model patent No. 2025/0250.2. Method for obtaining calcium silicate adsorbent from rice husk. – [?].

*Исследования выполнены в рамках проекта BR21882415 «Разработка технологии безопасной утилизации сточных вод для полива кормовых культур и древесных насаждений в условиях дефицита воды в Кызылординской области», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 19.07.25, принят 20.09.25.*

**Ш.М. Умбетова<sup>1</sup>, Н.О. Аппазов<sup>1</sup>, Х.Р. Садиева<sup>2</sup>,  
Д.Ж. Ниязова<sup>1</sup>, И.Д. Еспанова<sup>1</sup>, М.Б. Көпен<sup>1</sup>, Ө.С. Баймаханов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

<sup>2</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

#### **ТАБИҒИ СОРБЕНТТЕРДІ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП АҒЫН СУЛАРДЫ ҚОСЫМША ТАЗАЛАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАУ**

**Аңдатпа.** Бұл жұмыста табиғи сорбенттерді қолдана отырып, ағын суларды қосымша тазалау технологиясын әзірлеу қарастырылады. Сонымен қатар, күріш қалдықтарынан алынған активтелген көмірдің тиімділігіне салыстырмалы талдау жүргізіледі. Ерекше назар пруд-накопительдерде жиналатын ағын суларды ағаш отырғызу мен мал азықтық дақылдарды суаруға қауіпсіз қолдану мақсатында инновациялық тазалау әдісіне аударылады. Ұсынылған технология күріш қауызынан алынған активтелген көмір арқылы сүзуді, аэрацияны және тазалау сапасын арттыру үшін «Биогексен» биопрепаратын қолдануды қамтиды.

**Тірек сөздер:** қосымша тазалау, сорбент, ағын су, пруд-накопитель, активтелген көмір, технология.

**Sh.M. Umbetova<sup>1</sup>, N.O. Appazov<sup>1</sup>, K.R. Sadiyeva<sup>2</sup>,  
D.Zh. Niyazova<sup>1</sup>, I.D. Espanova<sup>1</sup>, M.B. Kopen<sup>1</sup>, O.S. Baymakhanov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan*

**DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY FOR ADVANCED TREATMENT  
OF WASTEWATER USING NATURAL SORBENTS**

**Abstract.** This study presents the development of a wastewater post-treatment technology utilizing natural sorbents, with a comparative analysis of the efficiency of activated carbon derived from various types of rice waste. Special attention is given to an innovative method for treating wastewater accumulated in storage ponds, aimed at its safe reuse for irrigation of tree plantations and forage crops. The proposed technology includes filtration through activated carbon made from rice husk, aeration, and the use of the biological agent “Biogexen” to enhance purification quality.

**Keywords:** post-treatment, sorbent, wastewater, storage pond, activated carbon, technology.

МРНТИ 61.31.51

Т.Ш. Устабаев<sup>1</sup> – основной автор, ©  
Н.Н. Балгабаев<sup>2</sup>, В.А. Тумлерт<sup>3</sup>, Г.С. Алимбетова<sup>4</sup>,  
Б.Д. Исмаилов<sup>5</sup>, Г.Е. Тельгараева<sup>6</sup>, Б.М. Жаксыбек<sup>7</sup>



<sup>1</sup>Магистр экологии, <sup>2</sup>Д-р с.-х. наук, профессор, <sup>3</sup>Канд. техн. наук,  
<sup>4,7</sup>Конструктор 3 категории, <sup>5,6</sup>Научный сотрудник

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6467-3069> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-1645-6283>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-6698-3818> <sup>4</sup><https://orcid.org/0009-0004-5046-0520>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0003-2502-1388> <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0003-4454-5806>  
<sup>7</sup><https://orcid.org/0009-0000-0583-3368>



<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup>Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства,



г. Тараз, Казахстан



<sup>1</sup>[timoha\\_85\\_85@mail.ru](mailto:timoha_85_85@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/MPHB9688>

## ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОДОПОДГОТОВКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ СОЛЕЙ ДЛЯ ОБВОДНЕНИЯ ПАСТБИЩ

**Аннотация.** Исследование посвящено подземным водам с повышенной минерализацией, применяемым для питьевого водоснабжения, и направлено на совершенствование методов их опреснения и разработку оптимальных технологических решений. В исследовании применены аналитические, экспериментальные, функциональные и статистические методы, а также методы классификации и синтеза. Проведен анализ химического состава минерализованных подземных вод, выявлены типовые ошибки и причины их возникновения при процессах очистки. Получены данные о влиянии высокой концентрации солей и химических соединений на эффективность технологических процессов, а также рассмотрены способы снижения негативного воздействия на окружающую среду. Результаты исследования позволили обосновать выбор оптимальных технологических режимов опреснения, которые обеспечивают повышение качества очищенной воды, снижение производственных затрат и минимизацию экологических рисков. Предложенные технологические схемы отличаются повышенной эффективностью, обеспечивают стабильное водообеспечение и могут быть внедрены в практику водоподготовки для систем питьевого водоснабжения. Практическая ценность работы состоит в возможности использования полученных решений для улучшения надежности водоснабжения населения, снижения затрат и повышения экологической безопасности процессов подготовки питьевой вод.

**Ключевые слова:** технологические схемы, подземные воды, химические компоненты, очистка воды, водоподготовка, питьевое водоснабжение, гидрохимические показатели воды.



Устабаев, Т.Ш. Химико-технологические аспекты водоподготовки подземных вод с высоким содержанием солей для обводнения пастбищ [Текст] / Т.Ш. Устабаев, Н.Н. Балгабаев, В.А. Тумлерт, Г.С. Алимбетова, Б.Д. Исмаилов, Г.Е. Тельгараева, Б.М. Жаксыбек // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.199-210. <https://doi.org/10.55956/MPHB9688>

**Введение.** Проблема обеспечения качественного питьевого водоснабжения пастбищных территорий в аридных зонах остается одной из ключевых задач в области водного хозяйства. Анализ современного состояния систем водоснабжения показывает, что большинство из них не включают полный цикл водоподготовки, включая опреснение или обезжелезивание, из-за нехватки реагентов, электроэнергии или устаревшей инфраструктуры. Более 80% населенных пунктов в таких регионах зависят от подземных источников воды, при этом суточное водопотребление варьируется от 50 до 1000 м<sup>3</sup>. Основная доля водопотребления приходится на жилой сектор (70%), животноводство (20%) и технологические нужды (10%). Однако гидрохимический состав источников воды часто не соответствует санитарным требованиям: более 40% подземных и поверхностных вод имеют повышенную минерализацию (1,5-3,5 г/дм<sup>3</sup>), что требует специальной обработки, включая обезжелезивание и стабилизацию [1-3].

Многие исследователи подчеркивают сложность обеспечения питьевой водой в условиях аридного климата. Например, в работах Гранкина Ю.Я. и др. [4] отмечается, что отсутствие комплексных систем водоподготовки приводит к снижению качества воды и увеличению риска заболеваний. Журба М.Г. [5] и Приймак А.И. [6] указывает на необходимость учета гидрохимических характеристик воды при проектировании водозаборных сооружений, подчеркивая, что игнорирование этих факторов приводит к неэффективности систем водоснабжения. В то же время, исследования Рябцева А.Д., Есполова Т.И. [7,8] показывают, что использование минерализованных вод после соответствующей обработки может быть экономически оправданным решением для регионов с дефицитом пресных источников. Однако в литературе недостаточно внимания уделяется систематизации подходов к выбору технологий водоподготовки с учетом разнообразия источников и потребителей.

Настоящая работа направлена на решение проблемы выбора оптимальных технологических схем водоснабжения пастбищных территорий с учетом качественных характеристик исходной воды и потребностей различных категорий водопользователей. Основное внимание уделяется анализу гидрохимических показателей, типов водозаборных сооружений и методов очистки, включая опреснение и предподготовку воды. В отличие от предыдущих исследований, акцент сделан на разработке универсальных рекомендаций, которые могут быть адаптированы к условиям аридных зон с учетом санитарно-эпидемиологических требований [9]. Выбор источников водоснабжения основывается на результатах топографических, гидрологических и гидрохимических изысканий, а также на приоритетном использовании подземных вод питьевого качества с возможностью их искусственного пополнения при недостаточных запасах [10].

**Условия и методы исследования.** Разработка технологических схем водоснабжения пастбищных территорий из поверхностных и подземных источников с различными видами энергоснабжения и способами водоподготовки на основе изучения методической литературы, нормативно-справочных источников, анализа и обобщения существующих технологических схем водоснабжения по разработанным ранее исходным требованиям.

Технологические схемы водоснабжения водозаборных пресных и минерализованных водоисточников по составу сооружений и оборудованию

мало чем отличаются друг от друга при совпадении качества воды, кроме минерализации. Основные отличия - применение опреснения (электродиализ, обратный осмос) и объема воды, использованной на собственные нужды опреснительной станции. Он составляет 20-50% от суточной производительности и зависит от величины минерализации исходной воды.

Концентрация химических веществ, встречающихся в минерализованных природных водах или добавляемых к воде в процессе ее обработки, при подаче на опреснительные установки мембранного типа, должна соответствовать требованиям Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к водоемным сооружениям, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов, кроме нормативов, указанных в Таблице 1 [11,12].

Таблица 1

Концентрация химических веществ в исходной воде, подаваемой на опреснительные установки мембранного типа

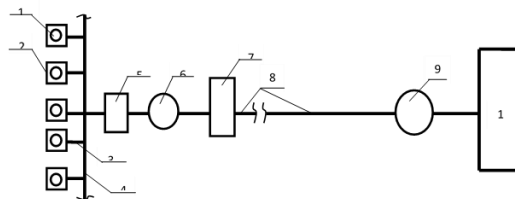
Наименование показателя	Норматив	
	электродиализ	обратный осмос
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup> , не более	8000	12000
Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup> , не более	45	20
Железо (Fe <sup>2+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,1	0,03
Марганец (Mn <sup>2+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,05	0,1
Бром (Br), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,5	0,7
Бор (B <sup>+3</sup> ), мг/дм <sup>3</sup> , не более	1,3	1,0

Оценивая данные таблицы 1, видно, что предъявляемые требования по концентрации железа, марганца, брома, бора выше к воде, подаваемой на опреснительные установки мембранного типа, чем для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Повышенная концентрация перечисленных химических элементов приводит к «отравлению» мембран и преждевременному снижению солевого на электродиализных и обратноосмотических установках. Поэтому, при выборе состава сооружений предочистки необходимо в технологических схемах предусмотреть более глубокую очистку исходной минерализованной воды по содержанию железа, марганца, брома, бора.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Подход к формированию технологических схем, основанный на учете качественных показателей исходной воды позволяет дать схематически весь набор методов предподготовки питьевой воды отображенных на десяти рисунках данной статьи.

*Перечень технологических схем очистки поверхностных вод.* В технологических схемах водоснабжения пастбищных территорий (включая СНП), возможно применять основные виды водоподготовки: очистка от механических взвесей и осветление; умягчение воды; опреснение воды. Во всех случаях необходимо производить обеззараживание воды бактерицидным или УФ-методами из подземных источников, и хлорированием из поверхностных источников.

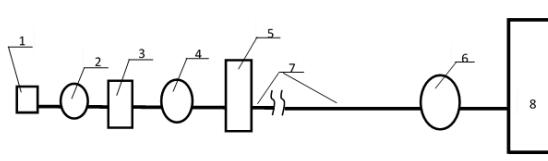
Типичной технологической схемой водоснабжения большинства поселков является схема с последовательным расположением сооружений и водонапорной башней (ВБ) в начале сети (рис. 1, 2).



1 – водоприемные (каптажные) сооружения; 2 – НС I подъема; 3 – трубопроводы от НС I подъема к сборному водоводу; 4 – сборный водовод; 5 – сооружения очистки и подготовки воды; 6 – резервуары для очищенной и подготовленной воды; 7 – НС II подъема; 8 – магистральный водовод; 9 – сооружения, регулирующие напор и расход воды, подаваемой в разводящую сеть к потребителю; 10 – разводящая сеть поселка.

Рис. 1. Схема расположения системы водоснабжения из подземных источников (скважина, каптаж родников)

Применение данной технологической схемы позволит использовать подземные воды с применением методов очистки и подключением в магистральные водопроводы для подачи потребителям.



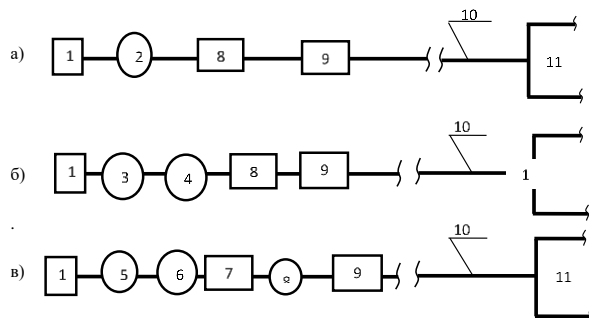
1 – оголовок с самотечными линиями; 2 – береговой колодезь, совмещенный с НС I подъема; 3 – блок очистных сооружений; 4 – резервуар чистой воды; 5 – НС II подъема; 6 – сооружения, регулирующие напор и расход воды, подаваемой в разводящую сеть к потребителю; 7 – магистральный водовод; 8 – разводящая сеть поселка.

Рис.2. Схема расположения сооружений системы водоснабжения из поверхностных источников

Применение технологической схемы, описанной на рисунке 2 позволяют использовать и очищать воду из поверхностных источников с подключением к разводящей сети и подачей потребителю

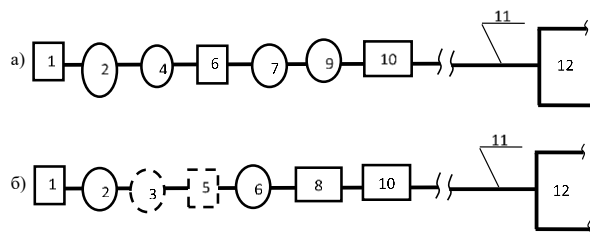
Технологические схемы с предочисткой от механических взвесей из подземных и поверхностных источников зависят от физико-химического состава исходной воды и при наличии в ней других признаков (вкус, запах, цветность, фтор, минерализация и т.д.) их может быть 87 вариантов. Рассматриваются технологические схемы водоснабжения при заборе воды из поверхностного источника при мутности от 50 до 3000 мг/дм<sup>3</sup> и цветности выше норм, при водозаборе из скважин с биологическим загрязнением и содержанием взвесей 2,5 г/дм<sup>3</sup> с крупностью 0,05-2,5 мм с повышенной минерализацией. К первому варианту можно отнести системы водоснабжения поселков М. Камкалы, Мынарал, ст. Шыганак, ст. Бурыл-Байтал Мойынкумского района; поселок Когершин района им. Т. Рыскулова. В названных поселках водозабор осуществляется из поверхностных

водоисточников (р. Шу, оз. Балхаш) или искусственных водоемов на горных реках. Здесь предлагается три варианта схем, которые по набору очистных сооружений отвечают природоохранным требованиям и их эксплуатация возможна в условиях сельской местности. Ко второму варианту относятся системы водоснабжения поселков Жайляуколь, Камкалы, Шыганак Сарысуского района. При этом каждый вариант, в свою очередь, содержит несколько схем в зависимости от величины мутности и цветности (рис. 3-6).



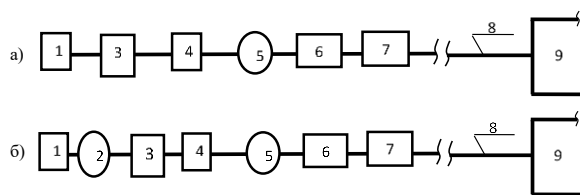
1 – водозабор; 2 – медленный фильтр (с удалением песка при регенерации); 3 – медленный фильтр с механическим рыхлением и гидросмывом загрязнений без удаления песка (при регенерации песка допускается мутность до 1000 мг/л); 4 – предварительный фильтр; 5 – ввод коагулянта (сульфаты и хлориды алюминия или железа); 6 – вертикальный отстойник или контактный осветлитель; 7 – скорый фильтр (песчаный или двухслойный); 8 – дезинфекция (хлор, озон, или перманганат калия); 9 – резервуары чистой воды; 10 – магистральный водовод; 11 – распределительная сеть.

Рис. 3. Технологические схемы очистки поверхностных вод при мутности более 1,5 мг/л и микробиологическом загрязнении: а) мутность – до 50 мг/дм<sup>3</sup>; б) мутность – 50-250 мг/дм<sup>3</sup>; в) мутность – 250-2500 мг/дм<sup>3</sup>



1 – водозабор; 2 – предварительное аэрирование; 3 – ввод коагулянта; 4 – ввод порошкообразного активированного угля; 5 – предварительное хлорирование; 6 – вертикальный отстойник или контактный осветлитель; 7 – скорый двухслойный фильтр; 8 – фильтр скорый (или медленный); 9 – дезинфекция; 10 – резервуары чистой воды; 11 – магистральный водовод; 12 – распределительная сеть.

Рис. 4. Технологические схемы очистки поверхностных вод при мутности более 1,5 мг/л, микробиологическом загрязнении, запахе и привкусе: а) мутность – 250-2500 мг/л, микробиологическое загрязнение, периодическое появление запаха и привкуса; б) мутность – 250-2500 мг/л, микробиологическое загрязнение, наличие запаха сероводорода

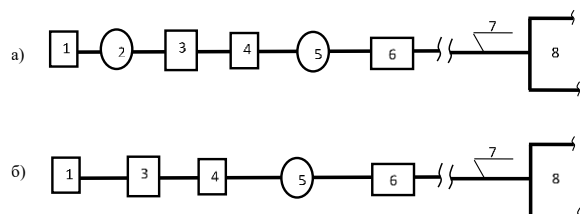


1 – водозабор, 2 – предварительная аэрация; 3 – ввод коагулянта; 4 – контактный осветлитель или вертикальный отстойник; 5 – скорый двухслойный фильтр; 6 – дезинфекция (хлор, озон); 7 – резервуары чистой воды; 8 – магистральный водовод; 9 – распределительная сеть.

Рис. 5. Технологические схемы очистки поверхностных вод при повышенной мутности, микробиологическом загрязнении и повышенном содержании железа: а) мутность более 1,5 мг/л, микробиологическое загрязнение, окисные соединения железа в виде коллоидно- и тонкодисперсных взвесей; б) мутность неограниченная, наличие гидрата закиси железа, окисные соединения железа в виде коллоидно- и тонкодисперсных взвесей, микробиологическое загрязнение

Применение вышеописанных схем позволяет очистить воду с поверхностных источников воды при разных показателях мутности от 50 мг/дм<sup>3</sup> до 2500 мг/дм<sup>3</sup> и микробиологических загрязнений.

При заборе из подземных источников (скважины, родники, шахтные колодцы) предлагается два варианта схем с различным набором сооружений по каждому варианту.

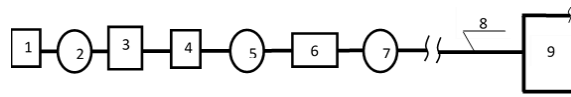


1 – водозабор; 2 – блок скорых фильтров; 3 – обеззараживание; 4 – резервуары чистой воды; 5 – насосная станция второго подъема; 6 – водонапорная башня (ВБ); 7 – магистральный водовод; 8 – распределительная сеть.

Рис. 6. Технологические схемы очистки подземных вод от механических взвесей: а) содержание взвесей до 2,5 г/дм<sup>3</sup> и крупностью до 0,5 мм; б) содержание взвесей более 2,5 г/дм<sup>3</sup> и крупностью от 0,5 до 2,5 мм

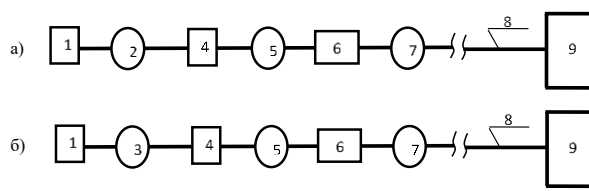
На гравитационных (самонапорных) водопроводах, когда источник водоснабжения расположен на господствующей точке (каптаж родников, самоизливающиеся скважины) из схемы исключается насосная станция второго подъема, и могут вводиться гасители напора по трассе водовода.

Технологические схемы очистки с умягчением воды. При умягчении исходной воды до требований норм возможно применение реагентных и безреагентных методов (рис. 7-8).



1 – водозабор; 2 – ввод коагулянта (известковое молоко или известково-содовый раствор); 3 – контактный осветлитель; 4 – скорый фильтр; 5 – обеззараживание; 6 – резервуары чистой воды; 7 – водонапорная башня (ВБ); 8 – магистральный водовод; 9 – распределительная сеть.

Рис. 7. Технологическая схема очистки воды реагентным методом



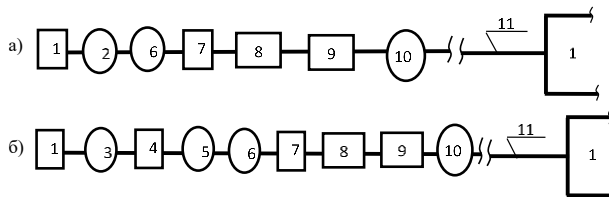
1 – водозабор; 2 – фильтр-умягчитель типа «Quadro-Fio»; 3 – H<sup>+</sup>или Na<sup>+</sup>-катионитовый фильтр; 4 – обеззараживание; 5 – резервуары чистой воды; 6 – насосная станция второго подъема; 7 – водонапорная башня (ВБ); 8 – магистральный водовод; 9 – распределительная сеть.

Рис. 8. Технологическая схема очистки воды безреагентным методом:

а) безреагентное умягчение воды с применением фильтров типа «Quadro-Fio»; б) безреагентное умягчение воды с применением H<sup>+</sup> или Na<sup>+</sup>-катионитовых фильтров

С точки зрения эксплуатации, экономичности и экологической безопасности для водоснабжения сельских поселков в схемах целесообразнее применять безреагентные схемы умягчения и обеззараживания.

При повышенном содержании железа в воде источников водоснабжения рекомендуется применение следующих схем (рис. 9).



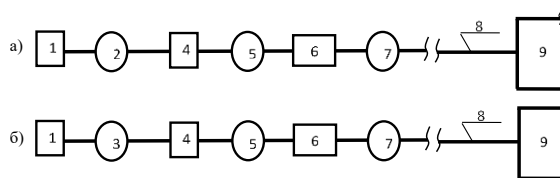
1 – водозабор; 2 – аэрация; 3 – аэрация и ввод окислителя (перманганат калия, диоксид хлора, известковый раствор); 4 – ввод коагулянта; 5 – контактный осветлитель (или скорый фильтр с пенополистирольной загрузкой); 6 – скорый двухслойный фильтр; 7 – обеззараживание; 8 – резервуары чистой воды; 9 – насосная станция второго подъема; 10 – водонапорная башня (ВБ); 11 – магистральный водовод; 12 – распределительная сеть.

Рис. 9. Технологическая схема очистки воды от железосодержащих примесей: а) содержание железа в закисной форме до 10 мг/дм<sup>3</sup> (по норме не более 0,3 мг/дм<sup>3</sup>); б) Содержание железа в окисной форме более 10 мг/дм<sup>3</sup>

Использование данных технологических схем позволит очищать воду реагентными и безреагентными способами с поверхностных и подземных источников для подачи к потребителю через магистральный трубопровод.

При повышенной общей минерализации (при норме не более 1,5 мг/дм<sup>3</sup>) поверхностных и подземных вод в технологических схемах водоснабжения применяют технические средства опреснения. Для условий поселкового водоснабжения наиболее приемлемыми являются электродиализ и гиперфильтрация. Эти методы хорошо изучены, освоено производство опреснительных установок, составлена карта-схема (КазНИИВХ) их применения в зависимости от минерализации источников водоснабжения на территории РК. При использовании поверхностных вод опреснительная станция включается в схему после обработки воды от мутности, осветления и отстаивания. Вода подземных источников, как правило, не требует дополнительной обработки (кроме обезжелезивания и удаления взвесей, если их содержание превышает норму) и может подаваться непосредственно на опреснительную установку.

В зависимости от минерализации исходной воды источника предлагается два варианта технологической схемы водоснабжения (рис.10).



1 – водозабор; 2 – электродиализная опреснительная установка; 3 – обратноосмотическая опреснительная установка; 4 – обеззараживание; 5 – резервуары чистой воды; 6 – насосная станция второго подъема; 7 – водонапорная башня (ВБ); 8 – магистральный водовод; 9 – распределительная сеть.

Рис. 10. Технологическая схема очистки воды с применением опреснения:  
а) минерализация от 1 до 8 мг/дм<sup>3</sup>; б) минерализация от 8 до 12 мг/дм<sup>3</sup>

Представлены восемнадцать технологических схем водоподготовки и очистки подземных вод, включающих разнообразные методы удаления химических элементов и примесей солей. Внедрение данных технологии позволяет довести подземные воды с высоким содержанием солей до нормативных показателей, которые соответствуют требованиям питьевого водоснабжения.

**Заключение.** В статье представлена научная работа по разработке химико-технологических схем очистки и водоподготовки воды с высоким содержанием солей для нужд отгонного животноводства.

Установленный перечень технологических схем дает возможность выбрать вариант с необходимым методом водоочистки и обеззараживания для потребителей с суточными расходами от 25 до 1000 м<sup>3</sup>/сутки с использованием как поверхностных, так и подземных вод, в т.ч. и минерализованных. Применение выбранной схемы во всех случаях требует полного технико-экономического и экологического обоснования. Ниже приводятся перечень технологических схем очистки для подземных и

поверхностных вод и некоторые примеры компоновки схем водоснабжения для выбранных типичных поселков по параметрам несоответствия требованиям норм [13-14].

Проведен анализ концентрации химических веществ в исходной воде, используемой для обводнения пастбищ, подаваемой на опреснительные установки мембранного типа.

Применение представленных технологических схем возможно на отгонных пастбищах РК площадью более 120 млн га. Это позволит решить одну из ключевых задач – обеспечить устойчивое питьевое водоснабжение и рациональное использование пастбищных территорий в условиях прогнозируемого дефицита водных ресурсов, что является основой стабильного эколого-экономического развития. Кроме того создается возможность обеспечить доступ к чистой питьевой воде малым населенным пунктам, которые сегодня лишены этой возможности. По статистике в РК, более 500 тысяч человек проживают в районах, где отсутствует гарантированный доступ к питьевой воде. Отсутствие чистой воды – это ухудшение санитарно-гигиенических условий, риск эпидемических заболеваний, усиление социальной напряженности и основная причина миграции сельского населения в города.

Таким образом, применение предлагаемых технологических схем водообеспечения можно рассматривать не только в химико-технологическом контексте, но и в стратегическом направлении политики управления водными ресурсами, социального благополучия населения, экологической и экономической стабильности сельских регионов РК.

#### Список литературы

1. IDA. Источник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.unep.org](http://www.unep.org).
2. Установки опреснения морской воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tis-m.ru/vodoochistka-i-vodopodgotovka-vpu/ustanovki-opres-neniya-morskoj-vody/#opr>.
3. UN DESA. World Population Prospects. The 2017 Revision. Key Findings and Advance Tables [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017\\_KeyFindings.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf).
4. Гранкин, Ю.Я., Серимбетов А.Е., Мухамеджанов В.Н., Гриценко Н.В. Проблемы обводнения (освоения) отгонных пастбищ в аридных зонах Республики Казахстан [Текст] / Ю.Я. Гранкин, А.Е. Серимбетов, В.Н. Мухамеджанов, Н.В. Гриценко // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 2014. – № 7. – С. 141-146.
5. Журба, М.Г. Подготовка воды для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения [Текст] / М.Г. Журба // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 2. – С. 45-49.
6. Приймак, А.И. Мембранные установки для получения качественной питьевой воды [Текст] / А.И. Приймак // Водные ресурсы Центральной Азии. – Алматы, 2002. – № 2. – С. 37-52.
7. Рябцев, А.Д. Вопросы устойчивого обеспечения населения питьевой водой в необходимом количестве и гарантированного качества [Текст] / А.Д. Рябцев // Водные ресурсы и водопользование. – 2007. – № 11 (46). – С. 11-16.
8. Есполов, Т.И. Инновационные направления развития обводнения и водоснабжения пастбищных территорий Республики Казахстан [Текст] / Т.И. Есполов // Вопросы географии и геоэкологии. – 2016. – № 3. – С. 17-24.
9. Санитарно-эпидемиологические требования к водоемким объектам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и

- безопасности водных объектов: Приказ Министра здравоохранения Республики Казахстан от 20 февраля 2023 года № 26 [Электронный ресурс]. – Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 20 февраля 2023 года № 31934.
10. Онласынов, Ж. Оценка качества подземных вод пастбищных территорий Южного Казахстана [Текст] / Ж. Онласынов, Т. Рахимов, М. Муратова, М. Акынбаева // 3I: Intellect, Idea, Innovation – интеллект, идея, инновация. – 2025. – № 1. – С. 174-181.
  11. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к водисточникам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов» [Текст] от 20.02.2023 г.
  12. Драгинский, В.Л. Обеспечение качества питьевой воды в свете новых нормативных требований [Текст] / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 9. – С. 23-28.
  13. Разработать принципиальные схемы водоснабжения с применением различных установок предочистки и опреснения природных минерализованных вод [Текст]: отчет о НИР / КазНИИВХ. – Джембул, 1988. – № ГР 01860085239.
  14. Разработать технические средства и технологии для устойчивого водообеспечения объектов сельскохозяйственного комплекса [Текст]: отчет о НИР (заключительный) / КазНИИВХ. – Тараз, 2011. – № ГР 0109РК00891. – 257 с.

*Исследования выполнены в рамках проекта BR24992885 «Научно-практическое обоснование устойчивого развития отечественного животноводства на основе обводнения пастбищных территорий подземными водами», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 25.07.25, принят 20.09.25.*

**Т.Ш. Устабаев<sup>1</sup>, Н.Н. Балгабаев<sup>1</sup>, В.А. Тумлерт<sup>1</sup>,  
Г.С. Алимбетова<sup>1</sup>, Б.Д. Исмаилов<sup>1</sup>, Г.Е. Тельгараева<sup>1</sup>, Б.М. Жаксыбек<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Қазақ су шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Тараз қ., Қазақстан

#### **ЖАЙЫЛЫМДАРДЫ СУЛАНДЫРУ ҮШІН ҚҰРАМЫНДА ТҰЗЫ ЖОҒАРЫ ЖЕРАСТЫ СУЛАРЫН СУ ДАЙЫНДАУДЫҢ ХИМИЯЛЫҚ-ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ**

**Аңдатпа.** Зерттеу ауыз сумен қамтамасыз етуге қолданылатын жоғары минералданған жерасты суларын тұзсыздандыру әдістерін жетілдіруге және оңтайлы технологиялық шешімдерді әзірлеуге арналған. Зерттеуде аналитикалық, эксперименттік, функционалдық және статистикалық әдістер, сондай-ақ классификация және синтез әдістері қолданылды. Минералданған жерасты суларының химиялық құрамы талданды, тазарту үдерістерінде жиі кездесетін қателіктер мен олардың пайда болу себептері анықталды. Тұздар мен химиялық қосылыстардың жоғары концентрациясының технологиялық процестердің тиімділігіне әсері туралы деректер алынды, сондай-ақ қоршаған ортаға теріс әсерін азайту жолдары қарастырылды. Зерттеу нәтижелері тұзсыздандырудың оңтайлы технологиялық режимдерін таңдауды негіздеуге мүмкіндік берді, бұл тазартылған судың сапасын арттыруға, өндірістік шығындарды азайтуға және экологиялық тәуекелдерді төмендетуге жағдай жасайды. Ұсынылған технологиялық схемалар тиімділігімен ерекшеленеді, тұрақты сумен қамтамасыз етуді қамтамасыз етеді және ауыз су дайындау жүйелерінде тәжірибеге енгізілуі мүмкін. Жұмыстың практикалық

құндылығы – алынған шешімдерді халықты сумен қамтамасыз етудің сенімділігін арттыруға, шығындарды азайтуға және ауыз су дайындау процестерінің экологиялық қауіпсіздігін жоғарылатуға пайдалану мүмкіндігінде.

**Тірек сөздер:** технологиялық схемалар, жер асты сулары, химиялық компоненттер, суды тазарту, су дайындау, ауыз сумен қамтамасыз ету, судың гидрохимиялық көрсеткіштері.

T.Sh. Ustabaev<sup>1</sup>, N.N. Balgabaev<sup>1</sup>, V.A. Tumlert<sup>1</sup>,  
G.S. Alimbetova<sup>1</sup>, B.D. Ismailov<sup>1</sup>, G.E. Telgarayeva<sup>1</sup>, B.M. Zhaksybek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Kazakh Scientific Research Institute of Water Management, Taraz, Kazakhstan*

#### CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF GROUNDWATER TREATMENT WITH HIGH SALT CONTENT FOR IRRIGATION OF PASTURES

**Abstract.** The study focuses on underground waters with high mineralization, used for drinking water supply, and is aimed at improving desalination methods and developing optimal technological solutions. Analytical, experimental, functional, and statistical methods, as well as methods of classification and synthesis, were applied in the research. The chemical composition of mineralized groundwater was analyzed, typical errors and their causes during purification processes were identified. Data were obtained on the effect of high concentrations of salts and chemical compounds on the efficiency of technological processes, and ways to reduce their negative environmental impact were considered. The research results substantiated the choice of optimal technological regimes for desalination, ensuring improved quality of purified water, reduced production costs, and minimized environmental risks. The proposed technological schemes are characterized by high efficiency, ensure stable water supply, and can be implemented in drinking water treatment systems. The practical significance of the study lies in the possibility of applying the obtained solutions to improve the reliability of water supply, reduce costs, and enhance the environmental safety of drinking water treatment processes.

**Keywords:** technological schemes, groundwater, chemical components, water purification, water treatment, drinking water supply, hydrochemical parameters of water.

#### References

1. IDA. Source [Electronic resource]. – Access mode: [www.unep.org](http://www.unep.org). [in Russian].
2. Desalination plants for seawater [Electronic resource]. – Access mode: <https://tis-m.ru/>. [in Russian].
3. UN DESA. World Population Prospects. The 2017 Revision. Key Findings and Advance Tables [Electronic resource]. – Access mode: [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017\\_KeyFindings.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf). [in Russian].
4. Grankin Yu.Ya., Serimbetov A.E., Mukhamedzhanov V.N., Gritsenko N.V. Problemy obvodneniya (osvoyeniya) otgonnykh pastbishch v aridnykh zonakh Respubliki Kazakhstan [Problems of watering (development) of remote pastures in arid zones of the Republic of Kazakhstan] // Bulletin of Agricultural Science of Kazakhstan. – 2014. – No. 7. – P. 141-146. [in Russian].
5. Zhurba M.G. Podgotovka vody dlya khozyaystvenno-pit'evogo i tekhnicheskogo vodosnabzheniya [Water treatment for domestic drinking and technical water supply] // Water Supply and Sanitary Engineering. – 2004. – No. 2. – P. 45-49. [in Russian].

6. Priymak A.I. Membrannye ustanovki dlya polucheniya kachestvennoy pit'evoy vody [Membrane plants for producing high-quality drinking water] // Water Resources of Central Asia, Almaty. – 2002. – No. 2. – P. 37-52. [in Russian].
7. Ryabtsev A.D. Voprosy ustoychivogo obespecheniya naseleniya pit'evoy vodoy v neobkhodimom kolichestve i garantirovannogo kachestva [Issues of sustainable supply of the population with drinking water in the required quantity and guaranteed quality] // Water Resources and Water Use. – 2007. – No. 11 (46). – P. 11-16. [in Russian].
8. Espolov T.I. Innovatsionnye napravleniya razvitiya obvodneniya i vodosnabzheniya pastbishchnykh territoriy Respubliki Kazakhstan [Innovative directions for the development of watering and water supply of pasture territories of the Republic of Kazakhstan] // Issues of Geography and Geoecology, 2016. – No. 3. – P. 17-24. [in Russian].
9. Sanitary and epidemiological requirements for water sources, water intake sites for domestic drinking purposes, domestic water supply and cultural water use and safety of water bodies: Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated February 20, 2023 No. 26. [in Russian].
10. Onlasynov Zh., Rakhimov T., Muratova M., Akynbaeva M. Otsenka kachestva podzemnykh vod pastbishchnykh territoriy Yuzhnogo Kazakhstana [Assessment of groundwater quality of pasture territories of Southern Kazakhstan] // 3I: Intellect, Idea, Innovation. – 2025. – No. 1. – P. 174-181. [in Russian].
11. Sanitary rules “Sanitary and epidemiological requirements for water sources, water intake sites for domestic drinking purposes, domestic water supply and cultural water use and safety of water bodies” dated 20.02.2023. [in Russian].
12. Draginskiy V.L., Alekseeva L.P. Obespechenie kachestva pit'evoy vody v svete novykh normativnykh trebovaniy [Ensuring the quality of drinking water in the light of new regulatory requirements] // Water Supply and Sanitary Engineering, 2004. – No. 9. – P. 23-28. [in Russian].
13. Razrabotat' printsipial'nye skhemy vodosnabzheniya s primeneniem razlichnykh ustanovok predochistki i opresneniya prirodnykh mineralizovannykh vod [Development of basic water supply schemes using various pretreatment and desalination units of natural mineralized waters]: research report / KazNIIVKh. – Dzhambul, 1988. – No. GR 01860085239. [in Russian].
14. Razrabotat' tekhnicheskie sredstva i tekhnologii dlya ustoychivogo vodoobespecheniya ob'ektov sel'skokhozyaystvennogo kompleksa [Development of technical means and technologies for sustainable water supply of agricultural complex facilities]: final research report / KazNIIVKh. – Taraz, 2011. – No. GR 0109RK00891. – 257 p. [in Russian].

FTAMP 64.41.23

А.К. Байдильдаева<sup>1</sup> – негізгі автор, ©  
Х.А. Каравана<sup>2</sup>, И.С. Джиембетова<sup>3</sup>,  
Г.Б. Джумабекова<sup>4</sup>, Б. Абзалбекұлы<sup>5</sup>



<sup>1</sup>Магистр, <sup>2</sup>PhD, профессор, <sup>3,4,5</sup>PhD, доцент

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7996-646X> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-0924-105X>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0002-9569-7500> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-6375-3128>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0002-9552-0388>



<sup>1,3,4,5</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Эге университеті, Измир қ., Түркия



<sup>1</sup>[asel.baydildaeva.95@mail.ru](mailto:asel.baydildaeva.95@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/FVMJ3854>

## БЫЛҒАРЫ МЕН АЯҚ КИІМ АСТАРЫНА ӨНДЕЛГЕН МИКРОБӨЛШЕКТЕРДІҢ ЖҮКТЕУ ТИІМДІЛІГІ ЖӘНЕ IN VITRO БОСАТУ ЗЕРТТЕУЛЕРІ

**Аңдатпа.** Берілген мақалада лавр майының аяқ киім астарларында жүктеу тиімділігін және былғарыға жағылған лавр майы микробөлшектерінің *in vitro* босатуы зерттелінді. Аяқ киім астар материалдарына жағылған 5 түрлі ерітінділердің жүктеу тиімділігі айқындалды. Жуылмаған астар материалдары мен 3 рет қайталанып жуылған материалдарда жүктеу тиімділігінің нәтижелері алынды. Лавр майы бар микробөлшектерімен сіңдірілген былғарыдан 24 сағаттық кезең ішінде лавр майының бөлінуі, яғни *in vitro* босатуының нәтижелері анықталды. Микробөлшектердің фосфатты буферленген тұзды ерітіндімен (PBS) байланысы қарастырылды. Нәтижесінде Solution-3 ерітіндісі бар астарда лавр майының жүктеу тиімділігі жоғары болғаны және терең батыру әдісімен жағылған май (DC-O) үлгілерінен жоғары *in vitro* босатуы көрсеткені дәлелденді.

**Тірек сөздер:** аяқ киім, былғары, астар, микробөлшектер, *in vitro*.



Байдильдаева, А.К. Былғары мен аяқ киім астарына өңделген микробөлшектердің жүктеу тиімділігі және *in vitro* босату зерттеулері [Мәтін] / А.К. Байдильдаева, Х.А. Каравана, И.С. Джиембетова, Г.Б. Джумабекова, Б. Абзалбекұлы // Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.211-216. <https://doi.org/10.55956/FVMJ3854>

**Кіріспе.** Былғары – жануарлар терісін, көбінесе ірі қара мал терісін илеу арқылы алынатын берік және икемді материал. Былғары – аяқ киімнің кең ассортиментін жасау үшін кеңінен қолданылатын табиғи материал. Оның бірегей сипаттамаларына жоғары созылу беріктігі, серпімділік, жыртылуға төзімділік, жоғары кеуектілік және ауа өткізгіштік жатады. Аяқ киімнің түріне және оның мақсатына байланысты белгілі бір сипаттамалары бар былғары түрлері қажет [1]. Осы мақсатта суға төзімділік, олеофобтық, тер бөліну, отқа төзімділік, микробқа қарсы қасиеттер және тозуға төзімділік немесе антистатикалық қасиеттер сияқты кейбір былғары қасиеттерін

жақсарту үшін илеуден кейінгі операциялар кезінде көптеген әрлеу қоспалары мен өңдеулер қолданылады.

Аяқ киімнің астары адамның аяғымен тікелей байланыста болатын аяқ киімнің ішкі материалы. Ол көптеген функционалдық және эстетикалық мақсаттарға қызмет етеді, соның ішінде жайлылықты арттыру, ылғал мен температураны басқару. Аяқ киім конструкциясы мен материалтану саласындағы академиялық зерттеулерде астарлар көбінесе олардың жылу реттеу қасиеттеріне, ылғалды сіңіру мүмкіндіктеріне және адамның қанағаттануына әсері үшін талданады.

Антибактериалды әрлеудің перспективті әдістерінің бірі материалдарды микрокапсулденген препараттармен өңдеу болып табылады. Бұл ұзақ әрекетті қамтамасыз етеді және белсенді заттың ең аз концентрациясын пайдалану мүмкіндігіне және оның бақыланып шығарылуына байланысты адамдар үшін қауіпсіз болып келеді. Микрокапсулдау әртүрлі салаларда қолданылады [2]. Материалдарды микрокапсулдаудың жаңа технологиясын енгізу инновациялық сапасы мен функционалдық көрсеткіштері бар мүлдем бірегей өнім алуға мүмкіндік береді. Микрокапсулдау – функционалды затты буланудан, ластанудан және қоршаған ортаның басқа да әсерлерінен қорғайтын және заттың ұзақ уақыт бойы бөлінуіне мүмкіндік беретін қабықшаға салу процесі.

Лавр майы өсімдіктің жапырақтарынан, жемістерінен және гүлдерінен алынады, тәтті-дәмді хош иісі бар [3]. Лавр майы биоактивті қасиеттердің кең ауқымын көрсетеді, бұл оны фармакологиялық, дерматологиялық және косметикалық қолдануда құнды етеді. Оның негізгі артықшылықтарының бірі артрит және ревматизм сияқты тірек-қимыл аппаратының ауруларын емдеуде құжатталған қабынуға қарсы потенциалында жатыр. Жергілікті қолданғанда лавр майы қабыну мен ауырсынуды азайтуға ықпал ете алады.

Бұл мақала лавр майының аяқ киім астарларында жүктеу тиімділігін және былғарыға жағылған лавр майы микробөлшектерінің *in vitro* босатуын анықтауға мүмкіндік береді.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Зерттеуде аяқ киім астар материалдарында бекітілген лавр майын анықтау үшін UV-Vis спектрофотометрінің көмегімен стандартты сызық сызылды. Лавр майы әртүрлі концентрацияларда n-гександа ерітілді және дайындалған ерітінділердің сіңіру мәндері 268 нм толқын ұзындығында UV-Vis спектрофотометрінің көмегімен анықталды.

Стандартты сызық декларациясы келесі формуламен анықталды:

$$y = (5,62 \times 10^{-2})x + (8,96 \times 10^{-3}) \quad (1)$$

R<sup>2</sup> мәні 0,99 ретінде есептелді.

Лавр майының әр түрлі типтегі астарларда адгезиялық қабілетін анықтау үшін n-гексан көмегімен жуылмаған және қатарынан үш рет жуылған астар маталар экстракцияланды. Ерітінділер 0,45 мкм мембраналық фильтрмен сүзілгеннен кейін, өлшеулер UV-Vis спектрофотометрімен жүргізілді.

Былғарыға өңделген микробөлшектердің *in vitro* босатуын зерттеу үшін 20 мл PBS:n-гексан қоспасынан тұратын жұмыс ортасы қолданылды. Өрқайсысы 2,5 мл үлгілер белгілі бір аралықпен жиналып, 268 нм-де UV-Vis спектрофотометрінде өлшенді. Өлшемдер үш реттен жүргізілді.

**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** Әр түрлі маталардағы лавр майын жүктеу тиімділігі. Бір, екі және үш нөмерлі (Lining 1, Lining 2, Lining 3) аяқ киім астар материалдарына жағылған 5 түрлі ерітінділер [4] арасында Solution-3 ерітіндісі бар астарда лавр майының жүктеу тиімділігі басқа ерітінділермен өңделген астарлармен салыстырғанда жоғары болғаны анықталды. Үш рет жуудан кейін эфир майының қатынасы төмендеді, бірақ матада әлі де эфир майы болды. Барлық астарлар құрылымында эфир майын сақтай алады. Эфир майымен өңделген маталар мен микрокапсулалармен өңделген маталар арасында айтарлықтай айырмашылық байқалмады. Жуылмаған маталарды жүктеу тиімділігі және 3 рет жуудан кейінгі жүктеу тиімділігі сәйкесінше 1 және 2-кестелерде келтірілген.

Кесте 1

Жуылмаған маталарды жүктеу тиімділігі

Аты	Қисық астындағы аймақ (268 нм)	Концентрация (мг/мл)
Solution-1-Lining1-1	0,264	4,536
Solution-1-Lining1-2	0,256	4,394
Solution-1-Lining2-1	0,389	6,759
Solution-1-Lining2-2	0,336	5,816
Solution-1-Lining3-1	0,224	3,825
Solution-1-Lining3-2	0,247	4,234
Solution-2-Lining1-1	0,255	4,376
Solution-2-Lining1-2	0,175	2,953
Solution-2-Lining2-1	0,19	3,22
Solution-2-Lining2-2	0,221	3,771
Solution-2-Lining3-1	0,324	5,603
Solution-2-Lining3-2	0,365	6,332
Solution-3-Lining1-1	0,288	4,963
Solution-3-Lining1-2	0,271	4,66
Solution-3-Lining2-1	0,266	4,572
Solution-3-Lining2-2	0,312	5,39
Solution-3-Lining3-1	0,325	5,621
Solution-3-Lining3-2	0,405	7,044
Solution-4-Lining1-1	0,177	2,989
Solution-4-Lining1-2	0,191	3,238
Solution-4-Lining2-1	0,23	3,931
Solution-4-Lining2-2	0,232	3,967
Solution-4-Lining3-1	0,361	6,261
Solution-4-Lining3-2	0,233	3,985

Кесте 2

3 рет жуудан кейінгі жүктеу тиімділігі

Аты	Қисық астындағы аймақ (268 нм)	Концентрация (мг/мл)
1	2	3
Solution-1-Lining1-1	0,064	0,979
Solution-1-Lining1-2	0,061667	0,937
Solution-1-Lining2-1	0,133333	2,212
Solution-1-Lining2-2	0,156333	2,621
Solution-1-Lining3-1	0,090667	1,453
Solution-1-Lining3-2	0,055667	0,831
Solution-2-Lining1-1	0,057333	0,860

2-кестенің жалғасы

1	2	3
Solution-2-Lining1-2	0,049	0,712
Solution-2-Lining2-1	0,118333	1,945
Solution-2-Lining2-2	0,136	2,259
Solution-2-Lining3-1	0,069	1,068
Solution-2-Lining3-2	0,058	0,872
Solution-3-Lining1-1	0,034333	0,451
Solution-3-Lining1-2	0,041333	0,576
Solution-3-Lining2-1	0,072667	1,133
Solution-3-Lining2-2	0,084333	1,341
Solution-3-Lining3-1	0,060333	0,914
Solution-3-Lining3-2	0,059	0,890
Solution-4-Lining1-1	0,068667	1,062
Solution-4-Lining1-2	0,032333	0,416
Solution-4-Lining2-1	0,083667	1,329
Solution-4-Lining2-2	0,115667	1,898
Solution-4-Lining3-1	0,155	2,597
Solution-4-Lining3-2	0,151333	2,532

Былғарыға өңделген микробөлшектердің *in vitro* босатуы. Лавр майы бар микробөлшектерімен сіндірілген былғарыдан 24 сағаттық кезең ішінде лавр майының бөлінуі, яғни *in vitro* босатуының нәтижелері анықталды. Терең батыру әдісімен жағылған май (DC-O) былғарыға сіндірілген лавр майының босату әрекеті үшін анықтамалық қызметі атқарды. Микробөлшектер ерекше сипаттамаларды көрсетті, олар шамалы бастапқы босатудан бастап, одан кейінгі тұрақты босату жылдамдығымен жалғасты. Микробөлшектерден DC-O (лавр майы) босатуы уақыт өте келе фосфатты буферленген тұзды ерітіндімен (PBS) байланыста болған кезде біртіндеп күшейе түскені байқалды. Бұл құбылыс лавр майының PBS ортасында жылдам ыдырауға ұшырайтынын көрсетті, бұл PBS-тің аз сілтілі табиғатына байланысты.

Жасалған формуладағы хитозан концентрациясының ауытқуы *in vitro* босату жылдамдығына айтарлықтай әсер етпейтіні байқалды. Әртүрлі формулаларды салыстырмалы талдау арқылы терең батыру әдісімен жағылған май (DC-O) үлгілерінен дәрілік бөліну коэффициенті басқа формулалы үлгілерден асып түсетіні анықталды, нақтырақ айтқанда терең батыру әдісімен жағылған лавр майы микрокапсулдары (DC-M), спрей әдісімен жағылған лавр майы микрокапсулдары (S-M) және спрей әдісімен жағылған екі еселенген лавр майы микрокапсулдары (S-2M) үлгілерінен жоғары. DC-M үлгісінде байқалған босату жылдамдығы ең баяу болды. Оның себебі терең батыру әдісінде ерітіндінің тиімсіз жағылуына байланысты, бұл электрондық микроскопты сканерлеу кескіндері нәтижесінде анықталды [5]. Былғарыда микробөлшектердің шектеулі көрінісінің себебі концентрлі микробөлшек ерітіндісін пайдаланғанына қарамастан, салыстырмалы түрде ауыр микробөлшектердің терең батыру процесі кезінде сырғып кетуі мүмкін екенін көрсетеді. S-2M үлгісі S-M-мен салыстырғанда баяу *in vitro* босатылуын көрсетті. Бұл құбылыс микробөлшектердің материалдың астына терең еніп, олардың шығуын қиындатумен байланысты деп саналады. Барлық өңделген былғарылардың *in vitro* босатуының нәтижелері PBS:n-гексаны бар микробөлшектердің *in vitro* босатуының нәтижелері секілді уақыт өте келе

өсті. Формулаларды бір-бірімен салыстыра отырып, S-M былғарысының дәрілік бөлінуі n-гексан микробөлшектерімен ұқсас концентрацияға ие екені анықталды. Былғарыға өңделген микробөлшектердің *in vitro* босатуы және стандартты ауытқу мәндері сәйкесінше 3 және 4-кестелерде көрсетілген.

Кесте 3

Былғарыға өңделген микробөлшектердің *in vitro* босатуы

Уақыт (сағ)	Уақыт (мин)	S-M	S-2M	DC-M	DC-O
0	0	0	0	0	0
0,50	30,00	9,62	4,76	2,135943	5,7361803
1,00	60,00	21,77	11,48	3,405575	11,831198
1,50	90,00	32,62	16,25	6,96204	24,48019
3,00	180,00	41,54	21,02	11,20356	28,006999
4,00	240,00	51,87	31,39	16,22206	46,726572
5,00	300,00	59,32	42,72	22,04721	66,943772
6,00	360,00	67,80	58,01	27,32076	86,054804
24,00	1440,00	83,81	74,43	32,11091	116,0911

Кесте 4

Стандартты ауытқу

Уақыт (сағ)	Уақыт (мин)	S-M	S-2M	DC-M	DC-O
0	0	0	0	0	0
0,50	30,00	0,709308	2,076467	0,03558719	0,358472
1,00	60,00	0,156644	1,947189	0,67810432	2,88189
1,50	90,00	2,278731	3,006315	1,22287014	11,96552
3,00	180,00	4,445361	5,302583	3,01428343	12,65057
4,00	240,00	0,692024	7,251982	5,80615655	1,663046
5,00	300,00	2,998412	4,495266	9,84108246	12,71192
6,00	360,00	3,458343	7,75946	13,3169021	14,93097
24,00	1440,00	3,338203	10,14398	15,751075	28,18255

**Қорытынды.** Лавр майы 1,8-цинол, эвгенол және линалол сияқты белсенді қосылыстардың болуына байланысты микробқа қарсы және саңырауқұлаққа қарсы қасиеттерге ие. Бұл ингредиенттер әртүрлі бактериялық және саңырауқұлақ штамдарына қарсы тиімділігін көрсетеді және лавр майын тері инфекцияларын, жараларды және дерматитті емдеуге қолайлы етеді. Зерттеу нәтижелерінде жасалған 5 түрлі ерітінділер арасында Solution-3 ерітіндісі бар астарда лавр майының жүктеу тиімділігі жоғары көрсеткіш көрсетті. Былғарыға терең батыру әдісімен жағылған май (DC-O) үлгісі басқа үлгілермен салыстырғанда жоғары *in vitro* босатуы көрсеткені айқындалды.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Yılmaz B., Karavana H. Application of Chitosan-Encapsulated Orange Oil onto Footwear Insock Leathers // Johnson Matthey Technology Review. – 2020. – Vol. 64. – P. 443-451.
2. Li Y., Ai L., Yokoyama W., Shoemaker C.F., Wei D., Ma J., Zhong F. Properties of chitosan-microencapsulated orange oil prepared by spray-drying and its stability to detergents // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2013.
3. Bielak E., Marcinkowska E., Sygula-Cholewiriska J., Golonka J. An examination of antimicrobial activity of lining leathers fatliquored with essential oils // Journal of the American Leather Chemists Association. – 2016.

4. Baidildayeva A., Türkoğlu G.C., Ökeer M., Eraç B., Karavana H.A. Textile-Based Footwear Linings Functionalized with Laurel Oil Microparticles: Antimicrobial Protection // The 10th International Conference on Advanced Materials and Systems. – Sciendo: ICAMS, 2024. – P. 24-29.
5. Baidildayeva A., Türkoğlu G.C., Ökeer M., Eraç B., Karavana H.A. Microencapsulation of laurel essential oil with chitosan for enhanced durability and antimicrobial properties of leather footbeds // Iranian Polymer Journal. – 2024.

Материал редакцияға 17.04.25 түсті, 21.08.25 қабылданды.

А.К. Байдильдаева<sup>1</sup>, Х.А. Каравана<sup>2</sup>,  
И.С. Джиембетова<sup>1</sup>, Г.Б. Джумабекова<sup>1</sup>, Б. Абзалбекұлы<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Таразский университет им. М.Х. Дулати, г.Тараз, Казахстан

<sup>2</sup>Университет Эге, г. Измир, Турция

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАГРУЗКИ И *IN VITRO* ВЫСВОБОЖДЕНИЯ МИКРОЧАСТИЦ, ОБРАБОТАННЫХ НА ОБУВНЫХ ПОДКЛАДКАХ И КОЖИ

**Аннотация.** В статье исследована эффективность загрузки лаврового масла на подкладку обуви и *in vitro* высвобождение микрочастиц лаврового масла, нанесенных на кожу. Была определена эффективность загрузки 5 различных растворов, применяемых к материалам для подкладки обуви. Результаты эффективности загрузки были получены для непромытых подкладочных материалов и материалов, промытых 3 раза. Определены результаты *in vitro* высвобождения лаврового масла из кожи, пропитанной микрочастицами лаврового масла, в течение 24 часов. Было исследовано связывание микрочастиц с фосфатно-солевым буферным раствором (PBS). В результате было доказано, что эффективность загрузки лаврового масла была выше в растворе Solution-3 и показала более высокое высвобождение *in vitro* в образце нанесенный методом глубокого погружения (DC-O).

**Ключевые слова:** обувь, кожа, подкладка, микрочастицы, *in vitro*.

А.К. Baidildayeva<sup>1</sup>, H.A. Karavana<sup>2</sup>,  
I.S. Jiyembetova<sup>1</sup>, G.B. Jumabekova<sup>1</sup>, B. Abzalbekuly<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Taraz university named after M.H. Dulaty, Taraz, Kazakhstan

<sup>2</sup>Ege University, Izmir, Turkiye

#### LOADING EFFICIENCY AND *IN VITRO* RELEASE STUDIES OF MICROPARTICLES TREATED ON LEATHER AND FOOTWEAR LININGS

**Abstract.** The article investigates the efficiency of loading laurel oil on footwear lining and *in vitro* release of laurel oil microparticles applied to leather. The loading efficiency of 5 different solutions applied to footwear lining materials was determined. The loading efficiency results were obtained for unwashed lining materials and materials washed 3 times. The *in vitro* release results of laurel oil from leather impregnated with laurel oil microparticles for 24 hours were determined. The binding of microparticles to phosphate buffered saline (PBS) was investigated. As a result, it was proven that the loading efficiency of laurel oil was higher in Solution-3 and showed higher *in vitro* release in the sample applied by deep immersion method (DC-O).

**Keywords:** footwear, leather, lining, microparticles, *in vitro*.

IRSTI 64.33.14

G.B. Arystanova<sup>1</sup> – main author, | ©  
K.M. Bekbolatova<sup>2</sup>, N.A. Aiiypanova<sup>3</sup>



<sup>1</sup>PhD student, <sup>2</sup>PhD, Associate Professor, <sup>3</sup>Lecturer, Master's degree

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8818-5278> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-6546-9796>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0008-7220-6258>



<sup>1</sup>Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan



<sup>2,3</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

@

<sup>1</sup>[viagulnur@mail.ru](mailto:viagulnur@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/ILEO2861>

## STUDY OF THE STRUCTURE OF ANTHROPOMETRIC INFORMATION FOR DESIGNING THE UNIFORMS OF THE ARMED FORCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**Abstract.** The study investigates the anthropometric parameters of military personnel in Kazakhstan, with a particular focus on the youth age group, in order to improve military uniform design. The main objective is to identify and classify key anthropometric determinants for developing a scientifically grounded methodology that addresses modern ergonomic and physiological requirements. The methodological significance of the research lies in proposing an innovative approach to systematizing anthropometric characteristics, taking into account ontogenetic dynamics, and in constructing a size typology model through correlation and factor analysis. This makes it possible to determine the most significant indicators and their interrelations that affect uniform construction. The practical value of the study consists in providing recommendations for the design of ergonomically optimized military uniforms that reflect dynamic anthropometry and age-related characteristics. The results can contribute to the automation of the uniform design process and to the revision of the size typology for military personnel in Kazakhstan.

**Keywords:** anthropometric data, dimensional typology, correlation analysis, factor analysis, 3D scanning, ergonomics.



*Arystanova G.B., Bekbolatova K.M., Aiiypanova N.A. Study of the anthropometric structure of military uniforms of the Republic of Kazakhstan personnel //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2025. – No.3(89). – P.217-226. <https://doi.org/10.55956/ILEO2861>*

**Introduction.** The scientific research is focused on studying the anthropometric features of servicemen of the Republic of Kazakhstan in order to develop comfortable and high-quality military uniforms that corresponds as closely as possible to their physique and the conditions of professional activity.

The purpose of the study is to scientifically substantiate the principles of designing specialized uniforms on the basis of comprehensive analysis of the anthropometric structure of servicemen of the Republic of Kazakhstan.

The theoretical significance of the study lies in expanding scientific knowledge about physical characteristics of the military contingent of the

Republic of Kazakhstan, the systematization of anthropometric parameters, and the development of methodological approaches to their comprehensive assessment.

The novelty of the study consists in the developing a methodology for systematizing anthropometric data, constructing a dimensional typology model, predicting changes, and introducing the principles of dynamic anthropometry and ergonomic design. For the first time in the Republic of Kazakhstan, a comprehensive approach to the use of anthropometric data for the design of military uniforms is presented.

The practical significance of the study lies in providing scientifically substantiated recommendations for the design of specialized uniforms that ensure optimal ergonomic and functional potential, taking into account the individual anthropometric features of servicemen of the Armed Forces of Kazakhstan.

The methodological approach includes a comprehensive analysis of the morpho-functional characteristics of a specific contingent of servicemen.

*Research approaches to uniform design.* Modern scientific research in the field of uniform design is focused on the introduction of innovative technologies such as personalized anthropometric diagnostics, 3D scanning and digital modeling. These approaches make it possible to optimize the design processes, improving ergonomics, functionality and individual adaptation.

Current state of scientific developments in military uniform design:

1. Efimov N.Y. studied the evolution of military uniforms as a socio-cultural phenomenon, highlighting the key stages of their transformation [1].
2. The international conference “Anthropometric Parameterization of Uniforms for the Armed Forces” presented a methodology based on precision anthropometric parameterization and intelligent marking, which reduced financial and environmental costs [2].
3. Hwang, R., and Nam, E. proved the effectiveness of 3D scanning and virtual fitting in improving the accuracy and comfort of military uniforms [3].
4. Sato Y., Tanaka K., and Watanabe M. investigated the use of 3D scanning to create adaptive teenage uniforms, emphasizing the importance of an individual approach [4].
5. Chen, Z., Tang K., and Joneja A. developed a methodology for anthropometric mapping for designing equipment that took into account the characteristics of a growing organism [5].
6. Pan M.X. and Han Y.G. presented a technological platform for virtual fitting and design of uniforms, which reduced time and economic costs [6].
7. Nikolaev T.P. and Ivanov A.V. proposed a precision measurement technique for designing school and military uniforms, considering age and individual characteristics [7].
8. Vasiliev I.V. and Ivanova S.A. developed a standardized technique for anthropometric measurements, increasing the accuracy and unification of design processes [8].
9. Makhmudova F.M. studied the ergonomic aspects of designing uniforms for adolescents, taking into account morphofunctional changes during puberty [9].
10. Kuznetsov V.P. and Smirnov A.A. proposed the integration of biometric technologies in the creation of adaptive military uniforms, considering individual characteristics [10].

Thus, modern research in the field of military uniform design demonstrates the active implementation of innovative technologies and methods. The digitalization of the process, including the use of 3D scanning and virtual fitting, significantly increases the accuracy of measurements and optimizes production.

There is a steady trend towards personalization of uniforms taking into account the individual anthropometric characteristics of servicemen. At the same time, new methodologies of precision measurement and standardized approaches not only improve the quality of design, but also contribute to the reducing production costs and environmental impact. It is also noteworthy that researchers increasingly consider military uniforms comprehensively, addressing both their functional characteristics and socio-cultural significance.

**Materials and methods.** The research methodology was based on a representative sample of anthropometric data of servicemen of the Republic of Kazakhstan. High-precision methods was applied for data collection, including 3D-scanning, which makes it possible to automatically identify 150 anthropometric points on the body. This approach significantly increases measurement accuracy and accelerates data processing.

Data analysis included correlation analysis (to identify relationships between parameters), factor analysis (to reduce the dataset to key factors), and statistical processing (descriptive statistics, Student's t-test). The sample included 500 participants (300 men and 200 adolescents), with a significance level of  $p < 0.01$ .

The advantage of 3D scanning lies in the creation of a digital twin for virtual form fitting, analysis of dynamic characteristics, and minimization of measurement errors ( $\pm 0.1$  mm compared to  $\pm 0.5$  cm for manual measurements). Data processing and visualization were carried out using AutoCAD, which improved both the accuracy and speed of analysis.

The validation of the results was confirmed through cross-checking of measurements and application of statistical processing. A comparative analysis of anthropometric studies in other countries also revealed key differences. In the USA (ANSUR II), large-scale studies based on 3D scanning involved more than 12,000 servicemen with 94 measurements. In Russia, both contact and non-contact methods were applied, covering about 5,000 participants with 60-70 measurements. In Kazakhstan, however, research remains limited, with outdated methodologies and a predominance of manual techniques.

Differences in the results show that in the USA there is high variability in body sizes, in Russia the indicators are close to European standards, while in Kazakhstan there are specific physique features requiring clarification of standards. Equipment in Kazakhstan needs modernization, as automated systems and specialized software are already widely used in the USA and Russia.

The development of research in Kazakhstan requires large-scale measurements, introduction of 3D-scanning technologies, creation of a national database, and cooperation with international centers. The main directions include automation of measurements, development of specialized software, and training of qualified specialists. The main challenges are lack of updated data, outdated technical facilities, and the absence of regular systematic research.

*Anthropometric and functional aspects of military uniform research.* The process of developing and introducing new samples of uniforms for servicemen of various categories was initiated on the instructions of the Head of State, Kasym-Jomart Tokayev, and implemented jointly with the relevant state bodies. In May 2023, these samples were presented at a national meeting and received presidential approval [11].

The design of military uniforms must ensure compliance with the anthropometric parameters of the human body. Particular attention is paid to functionality in active movement situations, since restricted mobility under extreme conditions may result in injuries or even pose a threat to life. The optimal weight of

a military uniform should not exceed 10% of the human body weight, and its design must provide freedom of breathing and movement [12].

The analysis of characteristic movements of servicemen revealed that the greatest changes in body size and shape occur in the area of the shoulder joint, back, limbs (for shoulder garments), as well as in the hip and knee joints (for lower garments). To ensure the ergonomics of shoulder garments, the key parameters include chest circumference allowances, sleeve cut (fitted sleeves with recessed armholes) and other structural features. The ergonomics of trousers is determined by the distribution of volume between the front and back halves, the step width of the back part, and the balance of the construction [13].

Anthropometric requirements for military personnel uniforms include ensuring maximum conformity to the body. For example, dungarees use an elastic band along the side seams and a convenient buckle in the front middle seam. Considering dimensional changes during movement (such as the increase in back length when leaning forward), adjustable elastic straps have been developed to adapt the upper part of the garment. For increased comfort during rest, the upper part of the product is made removable. When using load-bearing vests or other equipment, it is essential to minimize pressure on the shoulder seams to prevent displacement [14].

Ergonomic requirements for the design of clothing take into account the interaction within the “man-clothing-environment” system. The key aspect is the conformity of the garment’s design to typical human movements, which determines the choice of design parameters. Anthropometric conformity of the form considers both static and dynamic body characteristics. Static characteristics are provided by rational size and shape of the support areas of the design, ensuring a proper fit. Dynamic characteristics account for changes in body position in various poses: such as upright posture, forward bending, and limb movements in the hip joints [15].

**Research results and discussion.** To assess the ergonomics of shoulder garments, the following parameters were identified: chest girth allowance, sleeve edge height and other design features. As an optimization criterion, the value of arm movement extension in the studied samples was used. Expert analysis allowed to determine the key factors affecting the ergonomic design:

- Z1 – allowance for girth freedom (cm);
- Z2 – allowance for the chest girth at the transition area (cm);
- Z3 – additional chest allowance (cm);
- Z4 – sleeve edge height (cm).

For lower garment designs, important parameters include connection to the thigh semicircle, distribution of volume between front and back halves, step width of the back half, and balance of the construction. The ergonomic panel method was applied to determine optimal values of these parameters [15].

The results demonstrated that the introduction of 3D technologies and digital modeling optimizes the design of military uniforms. Parameterization reduces time and economic costs, while increasing ergonomics and personalization. An interdisciplinary approach that integrates technological, anthropometric, and ergonomic aspects creates new prospects for innovative uniform design.

The developed methodological approach based on multivariate analysis, ensures high accuracy and representativeness of data. This makes it possible to scientifically justify the design of military uniforms with consideration of individual anthropometric features. The application of modern technologies and

specialized software confirmed its effectiveness, providing both accuracy and efficiency of research.

The anthropometric data of servicemen in the Republic of Kazakhstan are presented in Table 1. The relationships between anthropometric parameters of men and adolescents are summarized in Tables 2 and 3.

Table 1

Anthropometric parameters with measurement errors

Parameters	Mean values (men) (n=500)	Mean values (women) (n=300)	Teenagers (n=200)
Height, cm	175.3 ± 0.5	165.2 ± 0.4	168.4 ± 0.6
Weight, kg	75.2 ± 0.3	65.1 ± 0.3	63.5 ± 0.4
Chest circumference, cm	100.4 ± 0.4	90.3 ± 0	88.7 ± 0.5
Waist circumference, cm	85.6 ± 0.3	75.4 ± 0.3	73.2 ± 0.4
Hip circumference, cm	95.3 ± 0.4	95.2 ± 0.3	92.1 ± 0.5
Arm length, cm	77.8 ± 0.3	71.4 ± 0.3	73.5 ± 0.4
Leg length, cm	82.4 ± 0.3	76.8 ± 0.3	79.2 ± 0.4

Table 2

Correlation matrix of male anthropometric parameters

Parameters	Height	Weight	Chest circumference	Waist circumference	Hip circumference
Height	1.00	0.65	0.78	0.58	0.52
Weight	0.65	1.00	0.85	0.85	0.79
Chest circumference	0.78	0.85	1.00	0.78	0.71
Waist circumference	0.55	0.88	0.75	1.00	0.79
Hip circumference	0.50	0.81	0.69	0.79	1.00

The correlation analysis showed that the correlation coefficient between chest circumference and height in men is  $r = 0.75$ , indicating a strong positive dependence. This means that as servicemen's height increases, chest circumference generally also increases. This factor should be considered when developing the design parameters of military uniforms to ensure their compliance with the anthropometric characteristics of servicemen.

In addition, an even stronger correlation between leg length and height ( $r = 0.85$ ) was revealed, confirming the importance of this parameter in the design of lower clothing elements, such as trousers. It was also found that the ratio of waist to hip circumference, as well as limb proportions, significantly affects the comfort and functionality of uniforms. Incorporating these anthropometric relationships into uniform design will enhance ergonomics and adaptability to the physique of servicemen.

Table 3

Correlation matrix of adolescents anthropometric parameters

Parameters	Height	Weight	Chest circumference	Waist circumference	Hip circumference
Height	1.00	0.55	0.68	0.50	0.45
Weight	0.55	1.00	0.75	0.80	0.72
Chest circumference	0.68	0.75	1.00	0.70	0.66
Waist circumference	0.50	0.80	0.70	1.00	0.77
Hip circumference	0.45	0.72	0.66	0.77	1.00

The conducted research produced a number of significant data necessary for the optimization of the design and production of military uniforms for servicemen of the Republic of Kazakhstan. The main attention was paid to the analysis of anthropometric and ergonomic parameters, as well as their influence on the functionality and comfort of uniforms.

*Anthropometric parameters and their consideration.* The study revealed the key anthropometric characteristics that determine the design features of military uniforms. It was found that seasonal changes affect the girth dimensions of the body: in winter they increase by 1.5-2.0 cm, and in summer they decrease by 1.0-1.5 cm. In addition, equipment influences the dynamic characteristics of the figure.

Correlation analysis showed a strong correlation between height and chest circumference in males ( $r = 0.78$ ), and a moderate correlation between height and hip circumference in adolescents ( $r = 0.45$ ). Factor analysis identified three main factors: general dimensional characteristics (46.1% of the variance), longitudinal dimensions (27.9%) and proportionality (16%). Coefficients of variation showed the highest variability for weight (8.7%) and the lowest for height (3.4%).

Additionally, key body areas most susceptible to changes during movement were studied: the shoulder joint, back, limbs, hips and knees. This allowed to determine optimal design parameters for shoulder and waist garments, such as chest circumference allowances, sleeve cut and volume distribution in pants.

*Ergonomic design requirements.* It has been established that the ergonomics of military uniforms directly depend on their compliance with the dynamic and static characteristics of the body. An important aspect is ensuring freedom of movement in extreme conditions, which is achieved through the use of elastic materials and adjustable design elements. Key design parameters affecting the ergonomics of the uniform, including bust measurement, sleeve length, step width, and design balance, were identified based on expert judgements. The optimal values of these parameters were determined using the ergonomic panel method.

*Limitations of the study and possible bias.* Several factors contribute to the limitations of the study. Measurement errors can occur due to human error, differences in measurement methods, the accuracy of the equipment used, and physiological changes in body parameters throughout the day. Regional peculiarities of the sample are influenced by genetic diversity of the population of Kazakhstan, climatic differences between regions, as well as the lifestyle and physical fitness level of servicemen.

Technological limitations include differences in data obtained by manual measurements and 3D scanning, the use of outdated anthropometric models, and the difficulty of updating the database. These factors need to be taken into account when designing military uniforms to ensure that they match the real parameters of military personnel.

Based on the obtained data, recommendations have been developed to improve the quality of military uniforms in Kazakhstan, which will increase their functionality, comfort and safety for servicemen.

Thus, the conducted scientific research confirms the need for an integrated approach to the design of military uniforms based on a combination of anthropometric parameters and ergonomic characteristics. The introduction of modern technologies of three-dimensional scanning and precise measurements optimizes the design process and ensures an individual approach while maintaining production efficiency. The research results highlight the prospect of further digitalization of the processes of creating military uniforms, taking into account the physical characteristics of servicemen.

The parameters presented in the study can be implemented in the uniform design process in order to improve comfort and functionality, especially in conditions of different climatic zones.

Further research can be focused on several promising directions. Firstly, the development of AI-based systems for automated design of military uniforms will significantly accelerate the process of uniform design, taking into account modern requirements and standards. Secondly, the creation of intelligent textile solutions with the integration of sensors for monitoring physiological parameters can improve the safety and comfort of servicemen by providing real-time data on their condition. Thirdly, analyzing the influence of climatic factors on the wear resistance of uniforms will help develop more durable materials adapted to different operating conditions. Finally, expanding the anthropometric database for different categories of servicemen will make it possible to create uniforms that better match the individual characteristics of each serviceman, increasing the convenience and efficiency of their use.

In the context of international cooperation, the following promising areas have been identified: data exchange with the military departments of the CSTO member states, joint research with the world's leading manufacturers of military uniforms, participation in international standardization committees, and the formation of a unified anthropometric database of servicemen.

Each of these directions opens up new opportunities for improving military uniforms and ensuring the comfort and safety of servicemen. The study of the dynamics of changes in anthropometric characteristics depending on the conditions of service is also of considerable interest for the subsequent improvement of uniform design methods.

**Conclusion.** In the course of the conducted research, the key anthropometric parameters necessary for designing the military uniform of the Republic of Kazakhstan were determined. The obtained results demonstrate the effectiveness of the differentiated method in uniform design, which optimizes design accuracy, reduces production costs and significantly improves the operational characteristics of uniforms.

The developed recommendations, based empirical data, can be applied in the creation of more ergonomic and functional military uniforms, thereby improving the efficiency of servicemen in performing their official duties. In particular, the following constructive and technological solutions are proposed: introduction of the modular design principle, use of elastic inserts in the zones of dynamic loads, application of modern materials with improved performance characteristics, and development of the sizing system that takes into account regional anthropometric features.

In addition, it is advisable to use innovative materials in the production of military uniforms, including composite fabrics with thermoregulation functions, materials with high breathability, wear-resistant synthetic fibers, and antibacterial coatings to improve hygienic properties of uniforms.

The results of the study comply with international standards such as ISO 7250-1:2017, NATO STANAG 2138 and ASTM D5219-15. They have practical significance for predicting anthropometric parameters, optimizing the design of military uniforms and its application in ergonomics, medicine and sports training.

The results obtained in the course of the work have a significant practical potential and can be used to solve the following tasks: creation of a digital database of anthropometric characteristics of RK servicemen, development of an automated system for designing military uniforms, optimization of mass production with

consideration of individual anthropometric features, implementation of preliminary 3D-modeling technologies, and formulation of recommendations for individual fitting of uniforms.

These results confirm the hypothesis that anthropometric characteristics must be taken into account when designing military uniforms. The study expands scientific knowledge in the field of military anthropometry and uniform design, offering specific methodological and technological solutions aimed at ensuring maximum comfort and functionality of military clothing.

#### References

1. Efimov N.Yu. Voennaya uniformologiya kak sotsiokul'turnyy fenomen: sodержanie i tendentsii razvitiya: sotsiofilosofskiy analiz [Military uniformology as a socio-cultural phenomenon: content and development trends: socio-philosophical analysis]: dis. ... Cand. Philosophical Sciences: 09.00.11 / Efimov Nikolay Yuryevich. – Moscow, 2010. – P. 25-36. [in Russian].
2. Dabolina I., Vilumsone A., Lapkovska E. Anthropometric parameterization of uniform clothing of the armed forces // Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference. – Rezekne, 2017. – Vol. 3. – P. 41-46.
3. Hwang R., Nam E. Development of a Growth Prediction Model for Adolescent Body Shapes Using Longitudinal 3D Scan Data // International Journal of Industrial Ergonomics. – 2021. – Vol. 84. – P. 8.
4. Sato Y., Tanaka K., Watanabe M. Implementation of 3D Body Scanning Technology for Customized School Uniform Production in Japanese Junior High Schools // Journal of the Japan Research Association for Textile End-Uses. – 2021. – Vol. 62, № 3. – P. 45-52.
5. Chen Z., Tang K., Joneja A. Fast and Automatic Identification of Contours for Girth Measurement on 3D Human Models with Variant Postures // Computer-Aided Design and Applications. – 2013. – Vol. 10, No. 2. – P. 321-337.
6. Pan M.X., Han Y.G. Cloud-Based Virtual Fitting Platform for Smart Uniform Design: Reducing Time and Cost in Mass Customization // International Journal of Clothing Science and Technology. – 2020. – Vol. 32, No. 5. – P. 689-704.
7. Nikolaeva T.P., Ivanova A.V. Metodika pretsizionnykh antropometricheskikh izmereniy dlya proektirovaniya shkol'noy i voennoy formy s uchetom vozrastnoy dinamiki i individual'nykh osobennostey [Methodology of precision anthropometric measurements for designing school and military uniforms taking into account age dynamics and individual characteristics] // News of higher educational institutions. Technology of light industry. – 2021. – Vol. 51, No. 4 (372). – P. 112-120. [in Russian].
8. Vasil'eva I.V., Ivanov S.A. Metodika izmereniy i standartizatsii antropometricheskikh dannykh dlya proektirovaniya voennoy odezhdy [Methodology of measurements and standardization of anthropometric data for designing military clothing] // Bulletin of military and special clothing. – 2020. – Vol. 12, No. 3. – P. 45-56. [in Russian].
9. Makhmudova F.M. K voprosu proektirovaniya elementov odezhdy dlya podrostkov s vysokimi ergonomicheskimi svoystvami [On the issue of designing clothing elements for teenagers with high ergonomic properties] // Scientific news. – 2022. – No. 28. – P. 355-357. [in Russian].
10. Kuznetsov V.P., Smirnov A.A. Antropometricheskoe obosnovanie proektirovaniya voennoy formy novogo pokoleniya [Anthropometric substantiation of the design of a new generation military uniform] // Bulletin of the Military Academy of Logistics. – 2021. – No. 2 (45). – P. 56-63. [in Russian].
11. Ministry of Defense of the Republic of Kazakhstan. A unified uniform is being introduced for servicemen of the Armed Forces, other troops and military formations [Electronic resource]. – Access mode:

- <https://www.gov.kz/memleket/entities/mod/press/news/details/690955?lang=en>.  
Date of access: 06.02.2025. [in Russian].
12. Surzhenko E.Ya. Teoreticheskie osnovy i metodicheskoe obespechenie ergonomicheskogo proektirovaniya spetsial'noy odezhdy [Theoretical foundations and methodological support for the ergonomic design of special clothing]: dis. ... Doctor of Technical Sciences: 05.19.04 / Surzhenko E.Ya. – St. Petersburg, 2001. – 416 p. [in Russian].
  13. Bakhtina E.Yu. Razrabotka uteplennoy odezhdy s uluchshennymi ergonomicheskimi parametrami dlya voennosluzhashchikh zhenshchin [Development of insulated clothing with improved ergonomic parameters for female military personnel]: dis. ... Cand. Technical Sciences: 05.19.04 / Bakhtina E.Yu. – St. Petersburg, 2000. – 156 p. [in Russian].
  14. Gordeeva A.V., Petrova S.A. Sovershenstvovanie konstruksii voennoy odezhdy s uchetom ergonomicheskikh trebovaniy [Improving the design of military clothing taking into account ergonomic requirements] // Technical aesthetics and design. – 2019. – No. 4. – P. 12-18. [in Russian].
  15. Saidova Sh.A., Petrosova I.A., Andreeva E.G. Obzor sovremennykh metodov proektirovaniya ergonomichnoy odezhdy [Review of modern methods for designing ergonomic clothing] // Modern problems of science and education. – 2014. – No. 4. [in Russian].

Received: 18 February 2025

Accepted: 19 September 2025

Г.Б. Арыстанова<sup>1</sup>, К.М. Бекболатова<sup>2</sup>, Н.А. Айыпканова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан

#### ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ӘСКЕРИ ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРІНІҢ НЕГІЗГІ ФОРМАСЫН ЖОБАЛАУ ҮШІН АНТРОПОМЕТРИЯЛЫҚ АҚПАРАТ ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа.** Зерттеу әскери форманың дизайнын жақсарту мақсатында Қазақстан әскери қызметкерлерінің, әсіресе жастар тобының антропометриялық параметрлеріне арналған. Зерттеудің мақсаты – қазіргі заманғы эргономикалық және физиологиялық талаптарға сәйкес ғылыми негізделген әдіснаманы әзірлеу үшін негізгі антропометриялық детерминанттарды анықтап, жүйелеу. Әдістемелік маңыздылығы – онтогенетикалық динамиканы ескере отырып антропометриялық сипаттамаларды жүйелеудің инновациялық тәсілін дамыту және корреляциялық пен факторлық талдау негізінде өлшемдік типология моделін құру. Бұл форма конструкциясына әсер ететін негізгі көрсеткіштер мен олардың өзара байланыстарын анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеудің практикалық құндылығы – динамикалық антропометрияны және жас ерекшеліктерін ескере отырып, эргономикалық тұрғыда оңтайландырылған әскери формалар жасауға арналған ұсынымдар әзірлеуде. Алынған нәтижелер Қазақстандағы әскери қызметкерлерінің форма дизайнын автоматтандыру және өлшемдік типологияны жаңарту процесіне үлес қосуы мүмкін.

**Тірек сөздер:** антропометриялық деректер, өлшемдер типологиясы, корреляциялық талдау, факторлық талдау, 3D-сканерлеу, эргономика.

**Г.Б. Арыстанова<sup>1</sup>, К.М. Бекболатова<sup>2</sup>, Н.А. Аийыпканова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский Национальный педагогический университет им. Абая,  
г. Алматы, Казахстан

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФОРМЫ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ РК**

**Аннотация.** Исследование посвящено антропометрическим параметрам военнослужащих Казахстана, особенно молодежной группе, с целью улучшения дизайна военной формы. Его цель — выявить и систематизировать ключевые антропометрические детерминанты для создания научно обоснованной методологии, соответствующей современным эргономическим и физиологическим требованиям. Методологическая значимость заключается в разработке инновационного подхода к систематизации антропометрических характеристик с учетом онтогенетической динамики и создании модели размерной типологии на основе корреляционного и факторного анализа. Это позволяет выявить ключевые показатели и их взаимосвязи, влияющие на конструкцию формы. Практическая ценность исследования включает рекомендации по разработке эргономически оптимизированных военных форм с учетом динамической антропометрии и возрастных особенностей. Результаты могут способствовать автоматизации процесса разработки дизайна формы для военнослужащих Казахстана и обновлению размерной типологии.

**Ключевые слова:** антропометрические данные, размерная типология, корреляционный анализ, факторный анализ, 3D-сканирование, эргономика.

МРНТИ 64.41.14

Д.Т. Максудова<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
М.У. Илхамова<sup>2</sup>, Д.К. Турсунова<sup>3</sup>



<sup>1</sup>PhD, <sup>2,3</sup>PhD, доцент

ORCID

<sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0002-2605-8510>



<sup>1,2,3</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,



г. Ташкент, Узбекистан



<sup>2</sup>[malokhat\\_69\\_86@mail.ru](mailto:malokhat_69_86@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/NPCT1583>

## ГЕНДЕРНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СТОПЫ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ, И ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ СТЕПЕНИ ПЛОСКОСТОПИЯ С ВЫРАЖЕННОСТЬЮ ВАЛЬГУСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ (HALLUX VALGUS) У МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ УЗБЕКИСТАНА

**Аннотация.** Статья посвящена анализу распространенности заболеваний стоп среди медицинских работников учреждений здравоохранения Узбекистана. В исследовании применены два метода измерения параметров стоп: первый – комбинированный, включающий использование стопомера, измерительной ленты и 2D-сканирования; второй – метод 3D-сканирования с использованием оборудования INFOOT. Проведен гендерно-ориентированный сравнительный анализ морфологических параметров стоп и распространенности таких деформаций, как плоскостопие и вальгусная деформация первого пальца (hallux valgus). В результате исследования установлены процентные соотношения стоп с нормальной анатомической структурой (категория НС + ВН – нормальный продольный свод и отсутствие вальгусной деформации) и стоп с различными видами деформаций среди мужчин и женщин. Выявлены статистически значимые различия в частоте встречаемости патологий по половому признаку, что подчеркивает необходимость учета гендерного фактора при разработке профилактических мероприятий, а также при проектировании и выборе специализированной медицинской обуви.

**Ключевые слова:** параметры стопы, медицинские работники, методы обмера, 2D-сканирование, 3D-сканирование, заболевания стоп, половые различия, плоскостопие, hallux valgus, Узбекистан.



Максудова, Д.Т. Гендерно-ориентированный анализ параметров стопы, полученных с использованием различных методов измерения, и оценка взаимосвязи степени плоскостопия с выраженностью вальгусной деформации (hallux valgus) у медицинских работников Узбекистана [Текст] / Д.Т. Максудова, М.У. Илхамова, Д.К. Турсунова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.227-233. <https://doi.org/10.55956/NPCT1583>

**Введение.** Профессиональная деятельность медицинских работников требует длительного пребывания в вертикальном положении, что приводит к высокой нагрузке на нижние конечности и стопы. Постоянные статические и

динамические нагрузки, недостаточная эргономика обуви и ограниченные возможности для отдыха создают предпосылки для развития таких патологий, как плоскостопие, варикозное расширение вен, мозоли, грибковые поражения и деформации сводов стопы [1,2].

В связи с этим для формирования эффективных профилактических подходов и требования к спецобуви, разработки дизайна, оценки соответствия и клинического применения, актуальным является измерение пространственных характеристик стопы и изучение распространенности заболеваний стоп у медицинского персонала, с учетом половых различий [3].

**Условия и методы исследования.** В исследовании использованы два основных метода для сбора информации о характеристиках стоп: комбинированный метод, при котором измерение длинных размеров и размеров по объему производится с помощью стопомера и измерительной ленты [4], а для получения отпечатка стопы использовано 2D сканирование с методикой, описанной в работах [5,6]. Данные, полученные путем 2D сканирования стопы, использованы для подсчета индекса арки стопы, для измерения ширины стопы, а также определения угла отклонения большого пальца. Вертикальные замеры, такие как высота ладьевидной кости и высота стопы, определялись с помощью линейки.

Метод 3D сканирования разработан с применением передовых оптоэлектронных технологий для сбора антропометрических данных [6,7]. Согласно методу 3D сканирования можно получить данные о поверхности и объеме стопы, а также рассмотреть его в поперечном разрезе. Преимущества применения 3D сканирования заключаются в возможности исследовать сразу большое количество участников за считанные минуты с точными и правильными результатами [8].

Перед началом обмеров с помощью наклеек на стопе определяют характерные анатомические точки, прикрепляют метки на нужные позиции правой поверхности стопы обмеряемого. Две позиции для установки меток находятся в плюсневой большеберцовой и плюсневой малоберцовой точках. Плюсневая большеберцовая точка определяется как самая срединная точка в начале первой плюсневой кости стопы. Плюсневая малоберцовая точка – боковая точка в начале пятой плюсневой кости. Эти же самые две анатомические точки были использованы для первого и второго методов и 3D сканирования. Самая крайняя точка пятки определена в качестве начальной точки. Каждый размерный признак стопы был изучен двумя методами исследования.

Исследования проведены среди медицинского персонала ряда лечебно-профилактических учреждений Узбекистана. Общее количество обследованных составило 426 человек, из них 182 мужчины и 244 женщины. Средний возраст мужчин составил  $21,25 \pm 2,15$ , от 28 до 68 лет. Соответственно, средний рост составил  $172,89 \pm 6,12$  см, а вес –  $76,49 \pm 5,97$  кг. Средний возраст женщин составил  $21,98 \pm 2,94$ , от 18 до 30 лет. Средний показатель роста –  $162,09 \pm 6,2$  см, вес –  $63,32 \pm 5,69$  кг. В виду временных ограничений проводилось обследование только доминирующей стопы. Для определения доминирующей стопы, использован метод удара ногой по мячу [9,10]. В случае, когда испытуемый не мог точно определить какой ногой он ударит ногой по мячу, снимались мерки с правой и левой стопы, и данные стопы с большим размером по длине стопы включались для статистических характеристик выборок. Все обследования по измерению характеристик стопы проводились утром с целью минимизировать деформацию объема.

Определялись следующие размерные признаки стопы: длина стопы, длина продольно-срединного свода стопы, длина продольно-бокового свода стопы, ширина стопы в горизонтальной плоскости и ширина пятки, обхват стопы по наружному пучку, по внутреннему пучку, угол отклонения большого пальца, состояние продольного свода.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Анализ антропометрических показателей стоп. Проведенные измерения параметров стопы комбинированным методом с использованием измерительных приборов и 2D сканирования стопы (1 метод), а также 3D сканирования с использованием сканера INFOOT (2 метод), позволили получить количественные характеристики размерных признаков стоп мужчин и женщин, а также их вариабельность. Основные статистические параметры, исследованных размерных признаков (по выборкам) представлены в таблице 1. Рисунки 1 и 2 демонстрируют примеры 3D- и 2D-сканирования стопы, реализованных в рамках настоящей работы.

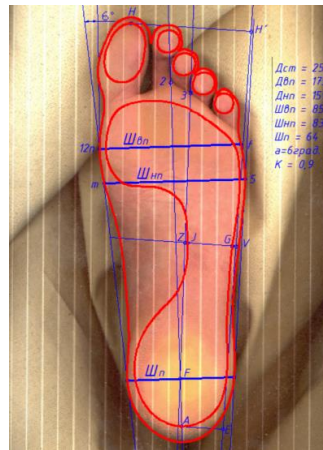


Рис. 1. Экранное отображение цифровой плантограммы стопы, полученной методом 2D-сканирования

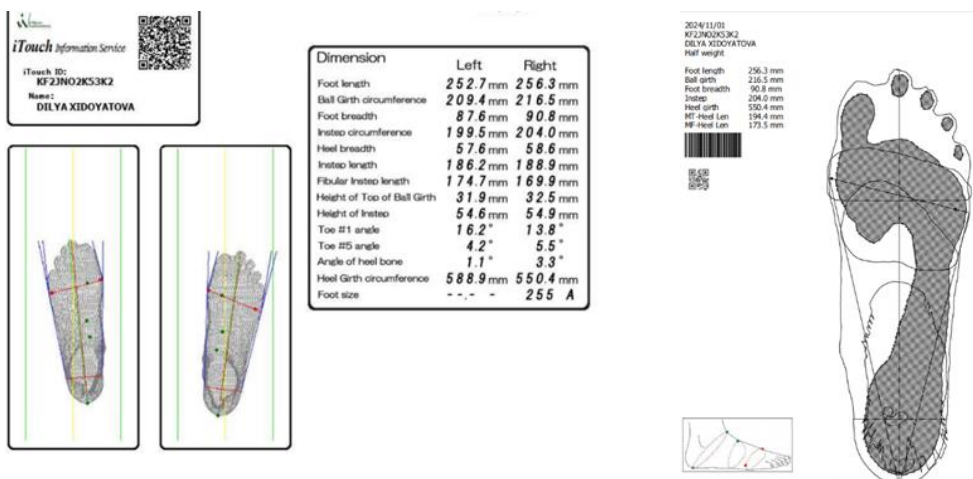


Рис. 2. Экранное отображение цифровой модели стопы и антропометрических параметров, полученных методом 3D-сканирования (INFOOT)

Таблица 1

Статистические параметры основных размерных признаков стоп женщин,  
полученных двумя методами

Антропометрический признак	1 метод		2 метод		Отклонение	
	(комбинированный метод)		(3D сканирование)			
	М	Ж	М	Ж	М	Ж
Длина стопы, $D_{ст}$	271,2	237	273,6	239,2	-2,4	-2,2
Обхват по плюсне, $O_{пл}$	267,6	241,5	265,2	239,4	2,4	2,1
Ширина стопы, $Ш_{ст}$	107,6	97,6	106,7	97,6	0,9	0
Обхват подъема, $O_{под}$	258,7	239,1	260,7	241,1	-2	-2
Ширина пятки, $Ш_{п}$	68,7	67,9	69,3	67	-0,6	0,9
Длина внутненнего пучка, $D_{вп}$	191,1	176,5	193,2	176,2	-2,1	0,3
Длина по наружному пучку, $D_{вн}$	178,7	155,3	179,7	156	-1	-0,7
Высота по верхней линии плюсны, $h_{пл}$	41,8	39,1	42,3	40,6	-0,5	-1,5
Высота подъема, $h_{под}$	69,8	68,9	70,8	68,9	-1	0
Угол отклонения большого пальца, $\alpha^\circ$	11,3°	26°	12°	24°	1,7	2
Косой обхват, $O_{н.с}$	337	320,2	339	322,2	-2	-2
Состояние продольного свода стопы, $K_{ст}$	1,23	1,32	1,2	1,3	0,03	0,02
Размер обуви, $N$	270	235	270	235	0	0

Примечание: М – мужчины; Ж – женщины.

Среднеарифметической величины по основным параметрам не превышает 0,5% величины признака, что свидетельствует о достоверности полученных данных, обоими методами, однако установлено, что 3D сканирование не выдает данных, касающихся степени продольного свода измеряемой стопы, для определения этого показателя необходимо провести ряд операций.

Для проведения гендерного анализа распространенности продольного плоскостопия в сочетании с вальгусной деформацией стопы были использованы данные, полученные с помощью двух методов. При этом степень плоскостопия в данной работе определялась коэффициентом плоскостопия [4,5], а по наличию вальгуса большого пальца нормальная стопа имеет угол отклонения меньше 10°, 1 степень – менее 20°, 2 степень – 20–30°, 3 степень – более 30°.

Статистический анализ включал подсчет абсолютных и относительных показателей (в % от общего числа обследованных в каждой группе).

Определение состояния продольного свода и вальгусной деформации большого пальца у обеих групп исследуемых позволило установить следующие результаты (рис. 3).

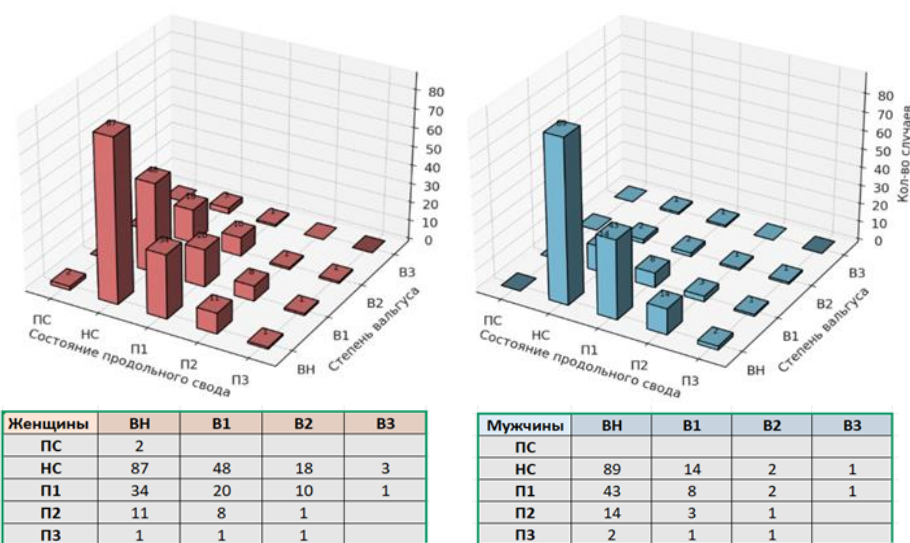


Рис. 3. Распространенность деформаций продольного плоскостопия в сочетании с вальгусной деформацией большого пальца

Из общего количества обследованных стоп мужчин 89 стоп (48,9%) были отнесены к условно здоровым (нормальный свод и отсутствие вальгусной деформации), с учетом того что вальгусные деформации большого пальца подразделяются на 93 стопы (51,1%) имели различные отклонения – от легкой степени вальгуса до плоскостопия 2-3 степени. Из 244 обследованных стоп женщин 87 стоп (35,7%) были признаны условно здоровыми, 157 стоп (64,3%) имели различную степень продольного и поперечного нарушения, в том числе в сочетании с вальгусной деформацией. Женщины демонстрируют существенно большую распространенность деформаций стоп по сравнению с мужчинами – на 13-14 процентных пунктов выше. Это подтверждает наличие гендерных различий в анатомо-функциональных характеристиках стоп и подчеркивает необходимость дифференцированного подхода при разработке профилактических программ, выборе ортопедической обуви и в клинической практике. Учитывая полученные данные, рекомендуется пересмотреть требования к обуви медицинского персонала с учетом гендерных особенностей, а также внедрить сменную профилактическую обувь, учитывающую особенности работы медицинских работников.

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенного исследования была получена антропометрическая информация о форме и размерах стоп, а также определены параметры условной средней стопы выделенной группы, необходимые для создания рациональной внутренней формы. Можно отметить, что результаты исследования открывают новые горизонты для медицинской практики и разработки профилактических программ. Также рассматривается возможность внедрения технологий 3D моделирования для более точного анализа и мониторинга состояния стоп у различных групп населения.

#### Список литературы

1. Wang C.S. An analysis and evaluation of fitness for shoe lasts and human feet // Computers in Industry. – 2010. – Vol. 61, № 6. – P. 532-540.

2. Witana C.P., Feng J., Goonetilleke R.S. Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit // *Ergonomics*. – 2004. – Vol. 47, № 12. – P. 1301-1317.
3. Бондаренко, А.В. Заболевания стоп у работников с повышенной нагрузкой: причины и профилактика [Текст] / А.В. Бондаренко, Е.А. Козловская // *Медицина труда и экология человека*. – 2019. – № 6. – С. 32-35.
4. Костылева, В.В. Практикум по конструированию изделий из кожи [Текст]: учебное пособие / В.В. Костылева, В.М. Ключникова. – Москва: ИНФРА-М, 2025. – 353 с.
5. Максудова, У.М. Использование компьютерных технологий при антропометрических исследованиях стоп [Текст] / У.М. Максудова, М.У. Илхамова, Д.З. Пазылова, Ш.Ш. Шералиев // *Тукимачилик муаммолари*. – Ташкент, 2013. – № 2. – С. 33-36.
6. Турсунова, Д.Т. Совершенствование конструкции детской профилактической обуви [Текст]: дис. ... PhD / Д.Т. Турсунова. – Ташкент: ТИТЛПИ, 2022. – 160 с.
7. Robinette K.M., Daanen H.A.M. Precision of the CAESAR scan-extracted measurements // *Applied Ergonomics*. – 2006. – Vol. 37, № 3. – P. 259-265.
8. Liu S., Chi Y., Sanchez S., Stricker D. Foot scanning and deformation estimation using time-of-flight cameras // *Footwear Science*. – 2011. – Vol. 3, № 1. – P. 98-99.
9. Telfer S., Woodburn J. The use of 3D surface scanning for the measurement and assessment of the human foot // *Journal of Foot and Ankle Research*. – 2010. – Vol. 3. – P. 19-27.
10. Kanchan T., Krishan K., ShyamSundar S., Aparna K.R., Jaiswal S. Analysis of footprint and its parts for stature estimation in Indian population // *Foot (Edinb)*. – 2012. – Vol. 22, № 3. – P. 175-180.

*Материал поступил в редакцию 21.07.25, принят 15.09.25.*

**Д.Т. Максудова<sup>1</sup>, М.У. Илхамова<sup>1</sup>, Д.К. Турсунова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Ташкент тоқыма және жеңіл өнеркәсіп институты, Ташкент қ., Өзбекстан*

#### **ӨЗБЕКСТАН МЕДИЦИНА ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРІНДЕ АЯҚ ПАРАМЕТРЛЕРІН ӘРТҮРЛІ ӨЛШЕУ ӘДІСТЕРІМЕН АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ЖАЗЫҚТАБУАНЫҢ ДӘРЕЖЕСІ МЕН HALLUX VALGUS ДЕФОРМАЦИЯСЫНЫҢ АРАҚАТЫНАСЫН ГЕНДЕРЛІК-ТАЛДАУ**

**Аңдатпа.** Мақала Өзбекстан денсаулық сақтау мекемелерінің медицина қызметкерлері арасында аяқ ауруларының таралуын талдауға арналған. Зерттеуде аяқ параметрлерін өлшеудің екі әдісі қолданылды: біріншісі – стопомерді, өлшеу таспасын және 2D-сканерлеуді қамтитын біріктірілген әдіс; екіншісі – INFOOT жабдығын қолдана отырып 3D-сканерлеу әдісі. Аяқтың морфологиялық параметрлерінің және жалпақтабандылық пен hallux valgus сияқты деформациялардың таралуының гендерлік салыстырмалы талдауы жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде қалыпты анатомиялық құрылымы бар аяқтардың (НС + ВН санаты – қалыпты ұзыннан табан күмбезі және hallux valgus жоқ) және әртүрлі деформациялары бар аяқтардың ерлер мен әйелдер арасындағы пайыздық арақатынасы анықталды. Патологиялардың жыныстық белгілерге байланысты таралуында статистикалық тұрғыдан маңызды айырмашылықтар табылды. Бұл алдын алу шараларын әзірлеуде, сондай-ақ арнайы медициналық аяқ киімді жобалау мен таңдауда гендерлік факторды ескерудің қажеттілігін айқындайды.

**Тірек сөздер:** аяқ параметрлері, медицина қызметкерлері, өлшеу әдістері, 2D-сканерлеу, 3D-сканерлеу, аяқ аурулары, жыныстық айырмашылықтар, жалпақтабандылық, hallux valgus, Өзбекстан.

D.T. Maksudova<sup>1</sup>, M.U. Ilkhamova<sup>1</sup>, D.K. Tursunova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, Uzbekistan

**GENDER-ORIENTED ANALYSIS OF FOOT PARAMETERS OBTAINED USING DIFFERENT MEASUREMENT METHODS AND ASSESSMENT OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE DEGREE OF FLATFOOT AND THE SEVERITY OF HALLUX VALGUS DEFORMATION IN HEALTHCARE WORKERS OF UZBEKISTAN**

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of the prevalence of foot disorders among healthcare workers in medical institutions of Uzbekistan. Two methods of measuring foot parameters were applied in the study: the first – a combined method including the use of a footmeter, measuring tape, and 2D scanning; the second – a 3D scanning method using INFOOT equipment. A gender-oriented comparative analysis of morphological foot parameters and the prevalence of such deformations as flatfoot and hallux valgus was carried out. The study revealed the percentage distribution of feet with normal anatomical structure (category NS + VNS – normal longitudinal arch and absence of hallux valgus) and feet with various types of deformations among men and women. Statistically significant differences in the prevalence of pathologies by gender were identified, which highlights the need to take the gender factor into account when developing preventive measures, as well as in the design and selection of specialized medical footwear.

**Keywords:** foot parameters, healthcare workers, measurement methods, 2D scanning, 3D scanning, foot disorders, gender differences, flatfoot, hallux valgus, Uzbekistan.

**References**

1. Wang C.S. An analysis and evaluation of fitness for shoe lasts and human feet // *Computers in Industry*. – 2010. – Vol. 61, No. 6. – P. 532-540.
2. Witana C.P., Feng J., Goonetilleke R.S. Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit // *Ergonomics*. – 2004. – Vol. 47, No. 12. – P. 1301-1317.
3. Bondarenko A.V., Kozlovskaya E.A. Zabolevaniya stop u rabotnikov s povyshennoj nagruzkoy: prichiny i profilaktika [Foot diseases in workers with increased load: causes and prevention] // *Occupational Medicine and Human Ecology*. – 2019. – No. 6. – P. 32-35. [in Russian].
4. Kostyleva V.V., Klyuchnikova V.M. Praktikum po konstruirovaniyu izdelij iz kozhi [Workshop on designing leather products]: textbook. – Moscow: INFRA-M, 2025. – 353 p. [in Russian].
5. Maksudova U.M., Ilkhamova M.U., Pazylova D.Z., Sheraliev Sh.Sh. Ispolzovanie kompyuternykh tekhnologij pri antropometricheskikh issledovaniyakh stop [Use of computer technologies in anthropometric studies of feet] // *Problems of Textile Industry*. – Tashkent, 2013. – No. 2. – P. 33-36. [in Russian].
6. Tursunova D.T. Sovershenstvovanie konstruksii detskoj profilakticheskoy obuvi [Improvement of the design of children's preventive footwear]: PhD dissertation. – Tashkent: TITLP, 2022. – 160 p. [in Russian].
7. Robinette K.M., Daanen H.A.M. Precision of the CAESAR scan-extracted measurements // *Applied Ergonomics*. – 2006. – Vol. 37, No. 3. – P. 259-265.
8. Liu S., Chi Y., Sanchez S., Stricker D. Foot scanning and deformation estimation using time-of-flight cameras // *Footwear Science*. – 2011. – Vol. 3, No. 1. – P. 98-99.
9. Telfer S., Woodburn J. The use of 3D surface scanning for the measurement and assessment of the human foot // *Journal of Foot and Ankle Research*. – 2010. – Vol. 3. – P. 19-27.
10. Kanchan T., Krishan K., ShyamSundar S., Aparna K.R., Jaiswal S. Analysis of footprint and its parts for stature estimation in Indian population // *Foot (Edinb)*. – 2012. – Vol. 22, No. 3. – P. 175-180.

FTAMP 64.29.33

Г.С. Кенжибаева<sup>1</sup> – негізгі автор, | ©  
М.Т. Сихимбаева<sup>2</sup>



<sup>1</sup>Техн. ғылым. канд., профессор, <sup>2</sup>Магистр, оқытушы

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6494-835X> <sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0005-0658-0290>



<sup>1,2</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті,



Шымкент қ., Қазақстан



<sup>1</sup>[ailana\\_2000012@mail.ru](mailto:ailana_2000012@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/UFMW6384>

## КІЛЕМ БҰЙЫМДАРҒА АРНАЛҒАН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ПОЛИПРОПИЛЕН ЖІБІНІҢ ҚҰРАМЫНА БАЙЛАНЫСТЫ ОТҚА ТӨЗІМДІЛІК ҚАСИЕТТЕРІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУІ

**Аңдатпа.** Бұл мақалада кілемдік бұйымдар өндірісінде қолданылатын модификацияланған полипропилен жібінің отқа төзімділік қасиеттерін зерттеуге бағытталған математикалық модельдеу нәтижелері ұсынылады. Жіп құрамындағы әртүрлі қоспалардың (антипирендер, тұрақтандырғыштар, толтырғыштар және т.б.) мөлшерлік арақатынасы мен олардың материалдың отқа төзімділігіне әсері жан-жақты қарастырылды. Зерттеу барысында алынған эксперименттік мәліметтер негізінде көпфакторлы регрессиялық модель құрылды. Бұл модель жіптің отқа төзімділік қасиеттерін алдын ала болжауға және құрамын оңтайландыру арқылы қажетті сапалық көрсеткіштерге қол жеткізуге мүмкіндік береді. Математикалық модельдің көмегімен өндірістік процестерді тиімді басқару және жаңа композициялық материалдарды жасау жолдары ұсынылады. Ұсынылған тәсіл полипропилен негізіндегі жіптердің сапасын арттыруға, олардың өрт қауіпсіздігі талаптарына сәйкестігін қамтамасыз етуге және заманауи кілем өндірісіндегі инновациялық материалдар қатарын кеңейтуге ықпал етеді.

**Тірек сөздер:** полипропилен жібі, модификация, отқа төзімділік, математикалық модельдеу, кілем өндірісі.



Кенжибаева, Г.С. Кілем бұйымдарға арналған модификацияланған полипропилен жібінің құрамына байланысты отқа төзімділік қасиеттерінің математикалық модельдеуі [Мәтін] / Г.С. Кенжибаева, М.Т. Сихимбаева //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.234-245. <https://doi.org/10.55956/UFMW6384>

**Кіріспе.** Қазіргі уақытта кілем өндірісінде қолданылатын полимер материалдарының сапалық сипаттамаларын жақсарту өзекті мәселелердің бірі болып табылады. Әсіресе, кілем бұйымдарының отқа төзімділік қасиеттері адам өмірінің қауіпсіздігін қамтамасыз ету тұрғысынан ерекше маңызға ие. Полипропилен жібі – кілем өндірісінде кеңінен қолданылатын материалдардың бірі. Оның жеңілдігі, өңдеу оңайлығы және бағасының төмендігі сияқты артықшылықтарымен қатар, термиялық тұрақтылығы мен отқа төзімділігі жеткіліксіз болып келеді. Осыған байланысты полипропилен

жібін әртүрлі модификациялау жолдары арқылы оның отқа төзімді қасиеттерін арттыру – ғылыми-зерттеу жұмыстарының маңызды бағытына айналды.

Полипропилен жібінің құрамына әртүрлі антипирендік (отты баяулататын) қоспалар енгізу арқылы материалдың термиялық қасиеттерін жақсартуға болады. Алайда, бұл процестің тиімділігі мен нәтижелілігін бағалау үшін алынған үлгілердің физика-химиялық және механикалық сипаттамаларын нақты анықтап, олардың арасындағы байланысты математикалық модельдеу арқылы көрсету қажет.

Полипропилен (ПП) – кілем бұйымдарын өндіруде жиі қолданылатын термопластикалық полимерлердің бірі. Бұл материал өзінің жоғары механикалық беріктігімен, жеңіл өңделетіндігімен және экономикалық тиімділігімен ерекшеленеді. Алайда, полипропиленнің басты кемшіліктерінің бірі – оның тез тұтанғыштығы және төмен термиялық тұрақтылығы.

Кілем өндірісінде полипропилен талшықтары кеңінен қолданылады. «Bal Tekstil» ЖШС кәсіпорнында синтетикалық жіптер негізінде дайындалатын кілемдердің сапасы мен қолдану ұзақтығы қолданылатын жіп түріне байланысты өзгеріп отырады. Әсіресе, BCF, Heat-Set және Frieze технологияларымен алынған жіптер өндірістік өңдеу деңгейіне қарай бір-бірінен ерекшеленеді және олардың отқа төзімділік қасиеттері де айтарлықтай айырмашылыққа ие.

Осы факторларды ескере отырып, полипропилен жібінің отқа төзімділік сипаттамаларын жақсарту – маңызды ғылыми және өндірістік міндеттердің бірі болып табылады. Бұл мақсатта полимер құрамына арнайы отқа төзімді қоспалар енгізу қарастырылды.

Аталған зерттеу аясында полипропилен негізіндегі композициялық материалдарға әртүрлі массалық үлесте алюминий гидроксиді ( $Al(OH)_2$ ), кремнезем ( $SiO_2$ ) және техникалық көміртек (C) қосылып, олардың материалдың отқа төзімділік қасиеттеріне әсері жан-жақты зерттелді.

Бұл зерттеуде полипропиленнің құрамына алюминий гидроксиді ( $Al(OH)_2$ ), кремнезем ( $SiO_2$ ) және техникалық көміртек (C) әртүрлі массалық қатынастарда қосылды.

Осы үш қоспаны тиімді ара қатынаста қолдану арқылы полипропилен жібінің отқа төзімділігін едәуір арттыруға болады. Қоспалар бір-бірін толықтыра отырып, жану температурасын көтереді, жылу бөлуді азайтады және жалынның таралу жылдамдығын төмендетеді. Бұл өз кезегінде кілем бұйымдарының өрт қауіпсіздігін қамтамасыз етуге және олардың сапалық сипаттамаларын арттыруға мүмкіндік береді.

Зерттеудің бұл түрі тек материалдың қасиеттерін сандық тұрғыдан бағалауға ғана емес, сонымен қатар өндірістік үдерістерді оңтайландыруға, қоспалар құрамын тиімді таңдау арқылы экономикалық шығынды азайтуға мүмкіндік береді. Осы мақалада модификацияланған полипропилен жібінің құрамына байланысты оның отқа төзімділік қасиеттерінің математикалық модельдеуі ұсынылып отыр. Зерттеу нәтижелері отқа төзімді полимерлі жіптерді жасауда ғылыми-тәжірибелік негіз бола алады және оларды кілем бұйымдарын өндіру саласында кеңінен қолдануға жол ашады.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Бұл зерттеуде кілем бұйымдарын өндіруде қолданылатын полипропилен жібіне антипирендік қоспалар енгізу арқылы оның отқа төзімділік қасиеттерін жақсарту көзделді. Модификация үшін келесі антипирендер қолданылды: алюминий гидроксиді ( $Al(OH)_2$ ), кремнезем ( $SiO_2$ ) және техникалық көміртек (C). Қоспалар әртүрлі массалық

үлесте (% массасы бойынша) полипропиленмен араластырылып, үлгілер экструдирленді.

Отқа төзімділік қасиеттерін анықтау үшін келесі сынақтар жүргізілді:

- LOI (Limiting Oxygen Index) – оттегінің шекті индексі;
- Термогравиметриялық талдау (TGA);
- Жалынның таралу жылдамдығы.

Әр үлгі үшін алынған нәтижелер Excel бағдарламасы арқылы өңделіп, MATLAB ортасында көп айнымалы регрессиялық модельдер құрастырылды.

**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** Жүргізілген зерттеу қорытындылары бойынша 1-кестеде модификацияланған жіптердің жану үрдісіне қатысты алынған мәліметтер берілген.

Кесте 1

Модифицирленген жіптердің жану үрдісінің зерттеу нәтижелері

№	Үлгілердің атауы	Түсі	Физ. сипаттамасы		Жану		Максималды жану		Тұтанып өшу	
			Құрамы	Мөлшері	$\tau$ , с	$t$ , °C	$\tau$ , с	$t$ , °C	$\tau$ , с	$t$ , °C
1	Поли-пропилен	Ақ	Марка H253FF	100%	10	225	68	307	202	220
					12	230	81	305	240	180
					21	240	120	258	306	150
					37	256	136	240	309	135
					60	285	144	230	384	111
2	№ 1 үлгі	Сарғыш	Углерод Кремнезем Алюминий ПП	0,5% 1,5% 3% 95%	36	175	326	278	558	180
					168	179	384	176	588	125
					190	249	420	210	600	105
					282	269	504	140	630	82
					307	285	569	278	660	74
3	№ 2 үлгі	Сұр	Углерод Кремнезем Алюминий ПП	1,5% 3% 0,5% 95%	58	90	390	307	630	219
					133	180	426	295	684	240
					187	220	450	270	744	281
					256	266	486	250	810	272
					318	280	540	235	888	74
4	№ 3 үлгі	Қара	Углерод Кремнезем Алюминий ПП	3% 0,5% 1,5% 95%	42	215	360	301	468	242
					60	210	384	291	480	200
					120	162	411	282	498	180
					186	161	420	260	570	164
					240	150	450	252	600	148

Ескерту:  $\tau$  – уақыт, мин;  $t$  – температура, °C.

Үш модифицирленген жіптерді жану үрдісін салыстырғанда ең ұзақ жанғаны 2-үлгі болып табылды.

Модельдеу деп зерттелетін объектіні (түпнұсқаны) шартты түрде ауыстыру ретінде қарастыруға болады, сипаттау модель деп аталатын және кейбіреулерінде түпнұсқаға жақын мінез-құлықты қамтамасыз ететін басқа объект болжамдар мен қолайлы қателіктер. Модельдеу ол әдетте объектінің өзін емес, оның моделін зерттеу арқылы түпнұсқаның қасиеттерін білу мақсатында орындалады. Әрине, модельдеу түпнұсқаның өзін жасау оңай болған кезде жасалмайды.

Математикалық модельдеу – бұл нақты жүйенің сипаттамасын алу үшін M математикалық модельдің S нақты жүйесіне сәйкестігін орнату процесі.

Модельдеу процесі ең жалпы түрде үш кезеңнен тұрады:

- ресімдеу (нақты объектіден модельге көшу),
- модельдеу (зерттеу, зерттеу және түрлендіру модель),
- интерпретация (модельдеу нәтижелерін виртуалды, модельдік аймақтан нақты аймаққа аудару).

*Математикалық модельдеу әдісі.* Модификацияланған жіптердің жану процесі келесі теңдеулермен сипатталады:

1) Жылу алмасу теңдеуі:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_{\text{реакц}} - Q_{\text{потери}} \quad (1)$$

2) Химиялық кинетика теңдеуі:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -R(T, C) \quad (2)$$

3) Зат алмасу теңдеуі:

$$\frac{\partial Y_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v} Y_i) = \nabla \cdot (D_i \nabla Y_i) + S_i \quad (3)$$

Модификацияланған жіптердің құрылымдық ерекшеліктері:

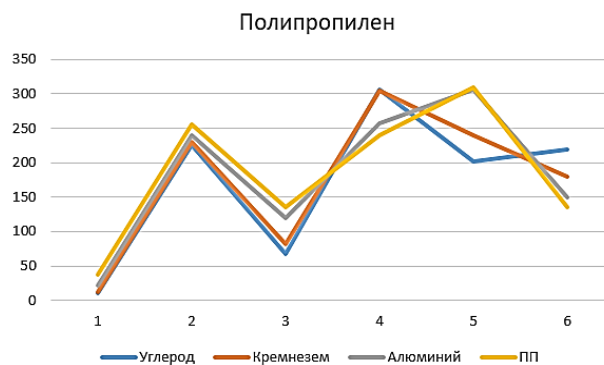
- Талшық → жылу өткізгіштік анизотропиясы;
- Кеуектілік → газдардың диффузиясы маңызды;
- Модификация → кинетиканың өзгеруі (катализ, тежелу).

Мүмкін болатын толықтырулар:

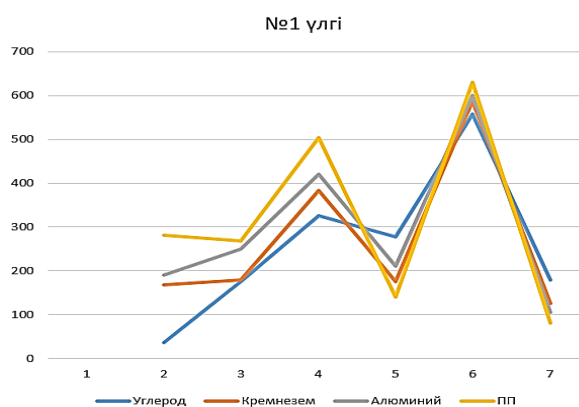
- Термиялық ыдырауды модельдеу (пиролиз);
- Қыздыру кезіндегі деформация механикасы (егер деформация маңызды болса);
- Жану режимдері: тұрақты, жарқыл, баяу жану.

Модификацияланған жіптердің жану процесінің регрессиялық талдауы – жану параметрлері мен жіптердің әртүрлі физика-химиялық сипаттамалары арасындағы байланысты анықтау үшін қолданылатын статистикалық әдіс. Бұл жану кезінде жіптердің әрекетін болжауға ғана емес, сонымен қатар процеске әсер ететін жеке факторлардың маңыздылығын бағалауға мүмкіндік береді.

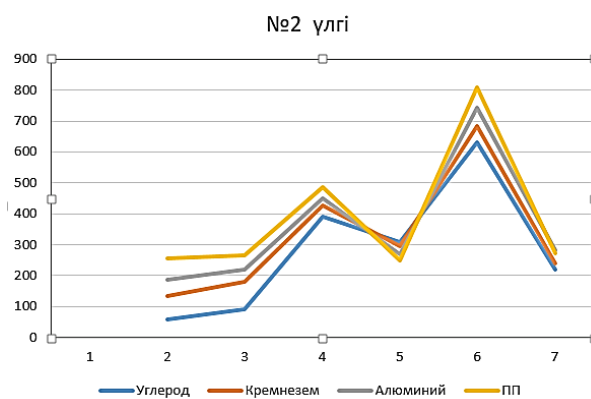
1-кестеде берілген мәліметтер бойынша әрбір үлгі құрамы бойынша сызбалар жасалды (5, 6, 7 және 8-суреттер).



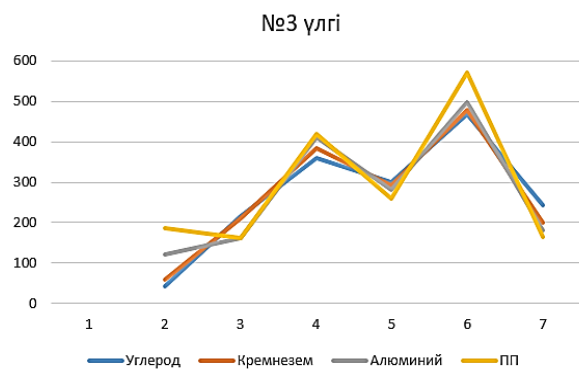
Сурет 1. Полипропилен құрамындағы қоспалар



Сурет 2. №1 үлгі ПП құрамы бойынша сызба



Сурет 3. №2 үлгі ПП құрамы бойынша сызба



Сурет 4. №3 үлгі ПП құрамы бойынша сызба

Математикалық модельдеу процессін жасау үшін кестедегі мәліметтерге сәйкес біз 4 факторды қарастырамыз:

- $x_1$  – бастапқы тұтанып жану
- $x_2$  – бастапқы тұтанып жану температурасы
- $x_3$  – максималды жану
- $x_4$  – максималды жану уақыты.

Осы факторларды қолдана отырып 4 түрлі үлгінің қайсысының жақсы екенін табу керек. Жоспарлау матрицасы 2-кестеде көрсетілгендей есептелді.

Кесте 2

Үлгілерді жоспарлау матрицасы

	a11	a12	a13	a14
a11	1			
a12	-1	1		
a13	-1	1	1	
a14	0,6262	-0,62625	-0,6262482275	1

Есептелген матрица коэффициенттері факторлар арасындағы байланыстың тығыздығын көрсетеді. Олардың абсолюттік мәні неғұрлым үлкен болса, сәйкес фактор нәтижеге соғұрлым жақын болады.

Жоспарлау матрицасын талдау екі кезеңнен тұрады:

1) Егер бірінші бағанда  $|r| < 0,5$  матрицасы болса, оның шарты орындалады, осыған сәйкес факторлар модельден шығарылады. Біздің жағдайда мұндай факторлар жоқ.

2) Факторлар матрицасында  $(r_{XiXj})$  өлшенген коэффициенттердің тығыз байланысын талдау кезінде олардың бір-бірінен тәуелсіздігін бағалау қажет. Бұл регрессиялық талдаудың қажетті шарты.

Регрессия теңдеуін сәйкестікке тексеретін параметрлерді есептейміз:

- R көп регрессиялық корреляция индексі;
- R-квадраттық регрессияны анықтау коэффициенті. Жуықтау дәлдігі жоғары, егер мән  $>0,95$  болса, жуықтау дәлдігі жеткілікті, егер  $0,6 < R < 0,95$  болса, жуықтау дәлдігі жеткіліксіз, егер  $r < 0,5$  болса, жақсарту, модельді жақсарту қажет. Біздің есептеулеріміз бойынша барлық параметрлердің мәндері жеткілікті деңгейде.

Үлгілердің регрессиялық статистикасы 3-кестеде көрсетілген.

Кесте 3

Үлгілердің регрессиялық статистикасы

Регрессия статистикасы:	
Бірнеше R	0,894792404
R-квадрат	0,800653445
Нормаланған R-квадрат	0,763275967
Стандартты қате	51,02326118
Бақылау	20

Дисперсиялық талдау барысында келесі параметрлерді есептейміз:

df – регрессия еркіндігінің дәрежесі – регрессия коэффициенттерінің санына тең:

$$df = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{(s_1^2/n_1)^2/(n_1-1) + (s_2^2/n_2)^2/(n_2-1)} \quad (4)$$

SS – регрессияның орташа квадраты:

$$SS = SSa + SSb \quad (5)$$

мұндағы:  $SS$  – ауытқу квадраттарының жалпы қосындысы;  $Ssa$  – факторының әсерінен ауытқу квадраттарының қосындысы;  $SS_t$  – қатенің ауытқу квадраттарының қосындысы.

Жалпы жағдайда ол келесі формула бойынша есептеледі:

$$SS_t = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{x_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^a (n_i - 1) s_i^2 = (n_1 - 1) s_1^2 + (n_2 - 1) s_2^2 + \dots + (n_i - 1) s_i^2 \quad (6)$$

$MS$  – регрессияның орташа қалдық квадраттары. Келесі формулалар бойынша есептеледі:

$$MS_a = \frac{SS_a}{a-1} \quad (7)$$

$$MS_t = \frac{SS_t}{n-a} \quad (8)$$

$F$  – орташа қалдық регрессия коэффициенттері арқылы есептелетін Фишер критерийінің коэффициенті:

$$F = \frac{MS_a}{MS_t} \quad (9)$$

Есептеулер нәтижесі 4-кестеде келтірілген.

Кесте 4

Регрессиялық модель бойынша дисперсиялық талдау нәтижелері

	df	SS	MS	F	Маңыздылығы F
Регрессия	3	16,57910043	55,19303348	21,420745	7,551520313
Қалдық	16	41,97089957	26,37318122		
Жалпы	19	20,55			

Стьюденттің критерийлері бойынша регрессиялық талдау нәтижелерінің дұрыстығын тексереміз. Стьюденттің t-критерийі орташа мәндер арасындағы айырмашылықтардың статистикалық маңыздылығын анықтау үшін қолданылады. Тәуелсіз үлгілерді байланысты популяцияларды салыстыру кезінде де, салыстыру кезінде де қолдануға болады. Есептеулердегі t-статистика бағанындағы деректер студенттің критерийлерінің мәндерін береді және келесі формула бойынша анықталады:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (10)$$

Есептеулер нәтижесі 5-кестеде келтірілген.

Кесте 5

Регрессиялық теңдеудің коэффициенттері және Стьюдент t-критерийінің статистикалық мәндері

	Y-қиылысы				
	Y-қиылысы	X1	X2	X3	X4
Коэффициенттер	7,105427358	0,0000526	0,0833333	0,0002547	0,0005649
Стандартты қате	0,235642	0,256987	0,895647	0,145214	0,569452
t-статистика	0,23654	0,55659	0,12457	0,25878	0,25698
P-мәні	0,00235642	0,00021563	0,40569871	0,25064789	0,12135465
Төменгі 95%	7,105427358	0,000526489	0,083333333	0,000254658	0,000564859
Жоғарғысы 95%	7,542736	0,000526	0,083333	0,000255	0,000565
Төменгісі 95%	5,265489	0,000526	0,083333	0,000255	0,000565
Жоғарғысы 95,0%	2,135648	0,000526	0,083333	0,000255	0,000565

Стьюденттің t-критерийінің алынған мәні дұрыс талдануы керек. Ол үшін біз әр топта зерттелген факторлардың санын аламыз ( $n_1$  және  $n_2$ ).

F еркіндік дәрежелерінің санын формула бойынша табамыз:

$$f = (n_1 + n_2) - 2 \quad (11)$$

Осыдан кейін біз Стьюденттің t-критерийінің маңызды мәнін қажетті мән деңгейіне және берілген кесте бойынша  $f$  еркіндік дәрежелерінің санын анықтаймыз. Критерийдің сыни және есептік мәндерін салыстыру қажет:

1. Егер Стьюденттің t-критерийінің есептік мәні кестеде табылған критикалық мәнге тең немесе одан үлкен болса, салыстырылатын шамалар арасындағы айырмашылықтардың статистикалық маңыздылығы туралы қорытынды жасаймыз.

2. Егер Стьюденттің есептелген t-критерийінің мәні кестедегі мәннен аз болса, онда салыстырылған шамалардың айырмашылықтары статистикалық тұрғыдан маңызды емес. Регрессиялық талдау нәтижелері бойынша регрессия теңдеуін аламыз:

$$y = 7,105 + 0,0000526 \cdot x_1 + 0,0833 \cdot x_2 + 0,00025 \cdot x_3 + 0,00056 \cdot x_4$$

Регрессия теңдеуі MATLAB бағдарламалық пакеті арқылы шешіліп, нәтижесінде 6-кестеде келтірілген мәндер алынды.

Есептеулер нәтижесінде барлық факторлар үшін график тұрғызылды (5-сурет).

Математикалық модельдеу нәтижесі бойынша модифицирленген жіптердің жану үрдісінің зерттеу нәтижелері арқылы №2 үлгі ең ұтымды болып табылады. Яғни 4 үлгілерді салыстыра келе №2 үлгі бастапқы тұтанып жану үлгісі 58 секундта 90°C, ал максималды жану 318 секундта, 280°C, 260 секунд аралықта өтеді. Ал Таза III бастапқы жану үрдісі 84 секунд аралықта жүрді, 1 үлгі бойынша 271 секунд аралықта болса 3 үлгіде 210 секунд аралығында өтті.

Тұтанып өшу үрдісінде №2 үлгі ең жақсы көрсеткіш көрсетті. Себебі тұтанып өшу үрдісі 258 секунд болды, III үлгіде – 182 секунд, №1 үлгіде – 102 секунд, №3 үлгі – 132 секундта өтті.

Кесте 6

MATLAB бағдарламалық пакетінің регрессия теңдеуі

Command Window

y =

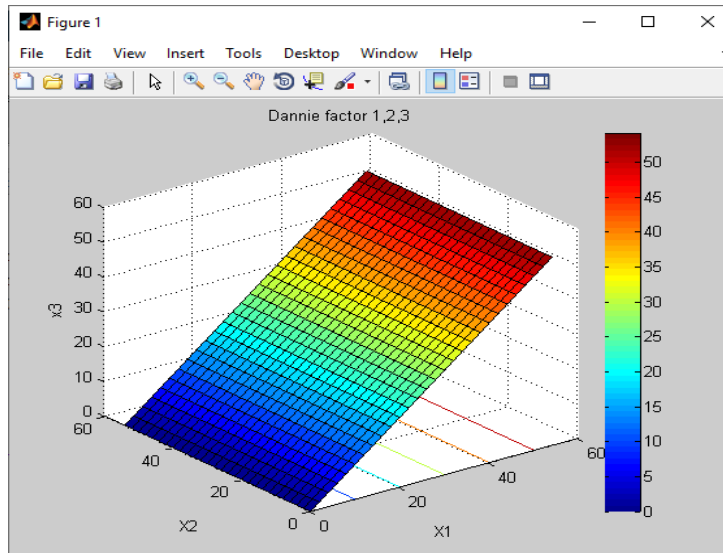
Columns 1 through 13

7.1050	7.1056	7.1062	7.1068	7.1074	7.1080	7.1086	7.1092	7.1098	7.1104	7.1111	7.1117	7.1123
7.2727	7.2733	7.2739	7.2745	7.2751	7.2757	7.2764	7.2770	7.2776	7.2782	7.2788	7.2794	7.2800
7.4404	7.4410	7.4417	7.4423	7.4429	7.4435	7.4441	7.4447	7.4453	7.4459	7.4465	7.4471	7.4477
7.6082	7.6088	7.6094	7.6100	7.6106	7.6112	7.6118	7.6124	7.6130	7.6136	7.6142	7.6148	7.6154
7.7759	7.7765	7.7771	7.7777	7.7783	7.7789	7.7795	7.7801	7.7807	7.7813	7.7819	7.7825	7.7831
7.9436	7.9442	7.9448	7.9454	7.9460	7.9466	7.9472	7.9478	7.9484	7.9490	7.9497	7.9503	7.9509
8.1113	8.1119	8.1125	8.1131	8.1137	8.1143	8.1150	8.1156	8.1162	8.1168	8.1174	8.1180	8.1186
8.2790	8.2796	8.2803	8.2809	8.2815	8.2821	8.2827	8.2833	8.2839	8.2845	8.2851	8.2857	8.2863
8.4468	8.4474	8.4480	8.4486	8.4492	8.4498	8.4504	8.4510	8.4516	8.4522	8.4528	8.4534	8.4540
8.6145	8.6151	8.6157	8.6163	8.6169	8.6175	8.6181	8.6187	8.6193	8.6199	8.6205	8.6211	8.6217
8.7822	8.7828	8.7834	8.7840	8.7846	8.7852	8.7858	8.7864	8.7870	8.7876	8.7883	8.7889	8.7895
8.9499	8.9505	8.9511	8.9517	8.9523	8.9529	8.9535	8.9541	8.9547	8.9553	8.9559	8.9565	8.9571
9.1176	9.1182	9.1189	9.1195	9.1201	9.1207	9.1213	9.1219	9.1225	9.1231	9.1237	9.1243	9.1249
9.2854	9.2860	9.2866	9.2872	9.2878	9.2884	9.2890	9.2896	9.2902	9.2908	9.2914	9.2920	9.2926
9.4531	9.4537	9.4543	9.4549	9.4555	9.4561	9.4567	9.4573	9.4579	9.4585	9.4591	9.4597	9.4603
9.6208	9.6214	9.6220	9.6226	9.6232	9.6238	9.6244	9.6250	9.6256	9.6262	9.6268	9.6275	9.6281
9.7885	9.7891	9.7897	9.7903	9.7909	9.7915	9.7922	9.7928	9.7934	9.7940	9.7946	9.7952	9.7958
9.9562	9.9568	9.9575	9.9581	9.9587	9.9593	9.9599	9.9605	9.9611	9.9617	9.9623	9.9629	9.9635
10.1240	10.1246	10.1252	10.1258	10.1264	10.1270	10.1276	10.1282	10.1288	10.1294	10.1300	10.1306	10.1312
10.2917	10.2923	10.2929	10.2935	10.2941	10.2947	10.2953	10.2959	10.2965	10.2971	10.2977	10.2983	10.2989
10.4594	10.4600	10.4606	10.4612	10.4618	10.4624	10.4630	10.4636	10.4642	10.4648	10.4654	10.4661	10.4667
10.6271	10.6277	10.6283	10.6289	10.6295	10.6301	10.6308	10.6314	10.6320	10.6326	10.6332	10.6338	10.6344
10.7948	10.7954	10.7961	10.7967	10.7973	10.7979	10.7985	10.7991	10.7997	10.8003	10.8009	10.8015	10.8021
10.9626	10.9632	10.9638	10.9644	10.9650	10.9656	10.9662	10.9668	10.9674	10.9680	10.9686	10.9692	10.9698
11.1303	11.1309	11.1315	11.1321	11.1327	11.1333	11.1339	11.1345	11.1351	11.1357	11.1363	11.1369	11.1375
11.2980	11.2986	11.2992	11.2998	11.3004	11.3010	11.3016	11.3022	11.3028	11.3034	11.3041	11.3047	11.3053

Command Window

Columns 14 through 26

7.1129	7.1135	7.1141	7.1147	7.1153	7.1159	7.1165	7.1171	7.1177	7.1183	7.1189	7.1195	7.1201
7.2806	7.2812	7.2818	7.2824	7.2830	7.2836	7.2842	7.2848	7.2854	7.2860	7.2866	7.2872	7.2879
7.4483	7.4489	7.4495	7.4501	7.4507	7.4513	7.4519	7.4525	7.4531	7.4537	7.4544	7.4550	7.4556
7.6160	7.6166	7.6172	7.6178	7.6184	7.6191	7.6197	7.6203	7.6209	7.6215	7.6221	7.6227	7.6233
7.7837	7.7844	7.7850	7.7856	7.7862	7.7868	7.7874	7.7880	7.7886	7.7892	7.7898	7.7904	7.7910
7.9515	7.9521	7.9527	7.9533	7.9539	7.9545	7.9551	7.9557	7.9563	7.9569	7.9575	7.9581	7.9587
8.1192	8.1198	8.1204	8.1210	8.1216	8.1222	8.1228	8.1234	8.1240	8.1246	8.1252	8.1258	8.1265
8.2869	8.2875	8.2881	8.2887	8.2893	8.2899	8.2905	8.2911	8.2917	8.2924	8.2930	8.2936	8.2942
8.4546	8.4552	8.4558	8.4564	8.4570	8.4577	8.4583	8.4589	8.4595	8.4601	8.4607	8.4613	8.4619
8.6223	8.6230	8.6236	8.6242	8.6248	8.6254	8.6260	8.6266	8.6272	8.6278	8.6284	8.6290	8.6296
8.7901	8.7907	8.7913	8.7919	8.7925	8.7931	8.7937	8.7943	8.7949	8.7955	8.7961	8.7967	8.7973
8.9578	8.9584	8.9590	8.9596	8.9602	8.9608	8.9614	8.9620	8.9626	8.9632	8.9638	8.9644	8.9650
9.1255	9.1261	9.1267	9.1273	9.1279	9.1285	9.1291	9.1297	9.1303	9.1310	9.1316	9.1322	9.1328
9.2932	9.2938	9.2944	9.2950	9.2956	9.2962	9.2968	9.2974	9.2980	9.2986	9.2992	9.2998	9.3005
9.4609	9.4615	9.4622	9.4628	9.4634	9.4640	9.4646	9.4652	9.4658	9.4664	9.4670	9.4676	9.4682
9.6287	9.6293	9.6299	9.6305	9.6311	9.6317	9.6323	9.6329	9.6335	9.6341	9.6347	9.6353	9.6359
9.7964	9.7970	9.7976	9.7982	9.7988	9.7994	9.8000	9.8006	9.8012	9.8018	9.8024	9.8030	9.8036
9.9641	9.9647	9.9653	9.9659	9.9665	9.9671	9.9677	9.9683	9.9689	9.9695	9.9702	9.9708	9.9714
10.1318	10.1324	10.1330	10.1336	10.1342	10.1349	10.1355	10.1361	10.1367	10.1373	10.1379	10.1385	10.1391
10.2995	10.3002	10.3008	10.3014	10.3020	10.3026	10.3032	10.3038	10.3044	10.3050	10.3056	10.3062	10.3068
10.4673	10.4679	10.4685	10.4691	10.4697	10.4703	10.4709	10.4715	10.4721	10.4727	10.4733	10.4739	10.4745
10.6350	10.6356	10.6362	10.6368	10.6374	10.6380	10.6386	10.6392	10.6398	10.6404	10.6410	10.6416	10.6422
10.8027	10.8033	10.8039	10.8045	10.8051	10.8057	10.8063	10.8069	10.8075	10.8082	10.8088	10.8094	10.8100
10.9704	10.9710	10.9716	10.9722	10.9728	10.9735	10.9741	10.9747	10.9753	10.9759	10.9765	10.9771	10.9777
11.1381	11.1388	11.1394	11.1400	11.1406	11.1412	11.1418	11.1424	11.1430	11.1436	11.1442	11.1448	11.1454
11.3059	11.3065	11.3071	11.3077	11.3083	11.3089	11.3095	11.3101	11.3107	11.3113	11.3119	11.3125	11.3131
11.4736	11.4742	11.4748	11.4754	11.4760	11.4766	11.4772	11.4778	11.4784	11.4790	11.4796	11.4802	11.4809
11.6413	11.6419	11.6425	11.6431	11.6437	11.6443	11.6449	11.6455	11.6461	11.6466	11.6472	11.6478	11.6484



Сурет 5. Есептеулер нәтижесі

Осылайша, бұл зерттеу жұмысында полипропилен жібінің құрамына алюминий гидроксиді ( $Al(OH)_2$ ), кремнезем ( $SiO_2$ ) және техникалық көміртек

(С) сияқты антипирендік қоспаларды әртүрлі массалық қатынастарда қосу арқылы оның отқа төзімділік қасиеттерін арттыру мүмкіндігі қарастырылды.

Жану үрдісін зерттеу нәтижелері бойынша ең тиімді құрам №2 үлгі болып анықталды. Бұл үлгінің бастапқы тұтанып жану уақыты – 58 секунд, температурасы – 90°C, ал максималды жану уақыты – 318 секунд, температурасы – 280°C деңгейінде тіркелді. Тұтанып өшу кезеңінде де бұл үлгі 258 секундта сөніп, басқа үлгілермен салыстырғанда жоғары нәтиже көрсетті. Бұл мәліметтер №2 үлгінің отқа төзімділігі жағынан ең жоғары көрсеткішке ие екенін дәлелдейді.

Математикалық модельдеу нәтижелері мен регрессиялық талдау деректері отқа төзімділікке әсер ететін факторлар арасындағы байланысты анықтауға мүмкіндік берді. Модельдеу нәтижелерінің дұрыстығы Стьюденттің және Фишердің критерийлері арқылы расталды, ал регрессия теңдеулері MATLAB бағдарламалық ортасында есептеліп, жану үрдісін болжау мен оңтайландыру үшін қолдануға болатындығы көрсетілді.

Осылайша, антипирендік қоспалар арқылы модификацияланған полипропилен жіптері кілем өндірісінде қолдануға жарамды, әрі олардың отқа төзімділігі едәуір жақсартылған. Бұл зерттеу нәтижелері өндірістік технологияны оңтайландыруға және қауіпсіздік талаптарына сай өнім шығаруға негіз бола алады.

**Қорытынды.** Жүргізілген зерттеуде полипропилен жіптердің отқа төзімділік қасиеттерін арттыру мақсатында антипирендік қоспалар (алюминий гидроксиді, кремнезем және көміртек) қолдану арқылы олардың құрамын модификациялау мәселесі қарастырылды. Зерттеу барысында алынған үлгілердің жану үрдісі әр түрлі параметрлер бойынша бағаланады: тұтану уақыты, жану температурасы, жалынның таралу жылдамдығы және тұтанып өшу кезеңі. Эксперименттік деректер негізінде жүргізілген термогравиметриялық талдау мен оттегінің шекті индексі жіптедің отқа төзімділік деңгейін нақты анықтауға мүмкіндік берді.

Математикалық модельдеу және регрессиялық талдау әдістерін қолдану арқылы жану сипаттамалары мен жіп құрамындағы антипирендік компоненттердің арасындағы функционалдық байланыстар сипатталды. Құрастырылған регрессиялық модельдер жану процесін болжау мен оны басқаруға негіз бола алады. Нәтижесінде, алынған математикалық модельдердің сәкестігі жоғары деңгейде расталды. Зерттеу нәтижесі бойынша ең тиімді отқа төзімділік қасиеттерін №2 үлгі көрсетті. Бұл үлгінің құрамында 1,5% көміртек, 3% кремнезем және 0,5% алюминий гидроксиді бар жіп полипропиленнің 95% негізінде дайындалды. Аталған үлгі жану процесінің барлық кезеңдерінде тұрақты әрі кешіктірілген реакция көрсетіп, қауіпсіздік талаптарына сай материал ретінде ерекшеленеді.

Антипирендік модификацияланған полипропилен жіптердің жану кезіндегі физика-химиялық қасиеттерін жүйелі түрде зерттеу оларды сандық модельдеуге және өндірістік мақсатта қолдануға ғылыми негіз береді. Алынған нәтижелер кілемдік бұйымдар өндірісінде отқа төзімді, қауіпсіз әрі технологиялық тиімді жіптерді әзірлеуге мүмкіндік береді.

#### Әдебиеттер тізімі

1. Назарбеков, Қ.Ж. Полимерлер химиясы және технологиясы [Мәтін] / Қ.Ж. Назарбеков. – Алматы: ҚазҰУ, 2018. – 356 б.
2. Сейілов, Қ.М. Материалдардың жану қасиеттері және отқа төзімділігін бағалау әдістері [Мәтін] / Қ.М. Сейілов. – Алматы: Технополис, 2020. – 242 б.

3. Абдуллаев, Е. Жалынға төзімді қоспалардың полипропилен талшықтарының жылулық қасиеттеріне әсері [Мәтін] / Е. Абдуллаев, А. Ибрагимов // Қолданбалы полимерлер ғылымы журналы. – 2022. – № 139(4). – Б. 482-489.
4. Власов, А.С. Термостойкие полимеры: Свойства, получение, применение [Текст] / А.С. Власов. – Москва: Химия, 2019.
5. Smith, R., Jones, P. Thermal degradation of modified polypropylene with nanofillers // Polymer Degradation and Stability. – 2021. – Vol. 180. – P. 109298.
6. MathWorks. MATLAB құжаттамасы [Электрондық ресурс]. – Қол жетімділік режимі: <https://www.mathworks.com/help/>.
7. Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments (10th ed.). – New York: Wiley, 2020.
8. ISO 4589-2:2017 Plastics – Determination of burning behaviour by oxygen index – Part 2: Ambient-temperature test. – Geneva: International Organization for Standardization, 2017.

Материал редакцияға 12.08.25 түсті, 18.09.25 қабылданды.

Г.С. Кенжибаева<sup>1</sup>, М.Т. Сихимбаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

#### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОЛИПРОПИЛЕНОВОЙ НИТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВА ДЛЯ КОВРОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

**Аннотация.** В данной статье представлены результаты математического моделирования, направленного на исследование огнестойких свойств модифицированной полипропиленовой нити, используемой в производстве ковровых изделий. Всесторонне рассмотрено количественное соотношение различных добавок в составе нити (антипирены, стабилизаторы, наполнители и др.) и их влияние на огнестойкость материала. На основе экспериментальных данных, полученных в ходе исследования, была построена многофакторная регрессионная модель. Эта модель позволяет заранее прогнозировать огнестойкие свойства нити и достигать необходимых качественных показателей путем оптимизации её состава. С помощью математической модели предлагаются способы эффективного управления производственными процессами и создания новых композиционных материалов. Предлагаемый подход способствует повышению качества нитей на основе полипропилена, обеспечению их соответствия требованиям пожарной безопасности, а также расширению ассортимента инновационных материалов в современном ковровом производстве.

**Ключевые слова:** полипропиленовая нить, модификация, огнестойкость, математическое моделирование, производство ковров.

G.S. Kenzhibayeva<sup>1</sup>, M.T. Sikhimbayeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

#### MATHEMATICAL MODELLING OF THE FIRE-RESISTANT PROPERTIES OF MODIFIED POLYPROPYLENE YARN DEPENDING ON ITS COMPOSITION FOR CARPET

**Abstract.** This article presents the results of mathematical modeling aimed at studying the fire-resistant properties of modified polypropylene yarn used in the production of carpet products. The quantitative ratio of various additives in the yarn

composition (flame retardants, stabilizers, fillers, etc.) and their effect on the fire resistance of the material are comprehensively examined. Based on the experimental data obtained during the study, a multifactorial regression model was constructed. This model allows predicting the fire-resistant properties of the thread in advance and achieving the necessary quality indicators by optimizing its composition. Using a mathematical model, methods are proposed for the effective management of production processes and the creation of new composite materials. The proposed approach contributes to improving the quality of polypropylene-based yarns, ensuring their compliance with fire safety requirements, and expanding the range of innovative materials in modern carpet production.

**Keywords:** polypropylene yarn, modification, fire resistance, mathematical modeling, carpet production.

#### References

1. Nazarbekov, Q.Zh. Polimerler khimiyasy zhane tekhnologiyasy [Chemistry and Technology of Polymers]. – Almaty: KazNU, 2018. – 356 p. [in Kazakh].
2. Seilov, Q.M. Materialdardyn zhanu qasietteri zhane otka tozimdiligin bagalau adisteri [Combustion Properties of Materials and Methods for Assessing Fire Resistance]. – Almaty: Tekhnopolis, 2020. – 242 p. [in Kazakh].
3. Abdullaev E., Ibragimov A. Zhalynga tozimdi qospalardyn polipropilen talshyqtarynyn zhylulyq qasietterine aseri [Effect of Flame-Retardant Additives on the Thermal Properties of Polypropylene Fibers] // Journal of Applied Polymer Science. – 2022. – No. 139(4). – P. 482-489. [in Kazakh].
4. Vlasov, A.S. Termostoikie polimery: Svoistva, poluchenie, primeneniye [Heat-Resistant Polymers: Properties, Production, Application]. – Moscow: Khimiya, 2019. [in Russian].
5. Smith R., Jones P. Thermal degradation of modified polypropylene with nanofillers // Polymer Degradation and Stability. – 2021. – Vol. 180. – P. 109298.
6. MathWorks. MATLAB Documentation [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.mathworks.com/help/>.
7. Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments (10th ed.). – New York: Wiley, 2020.
8. ISO 4589-2:2017 Plastics – Determination of burning behaviour by oxygen index – Part 2: Ambient-temperature test. – Geneva: International Organization for Standardization, 2017.

МРНТИ 64.29.81

Ж.К. Боркулакова<sup>1</sup> – основной автор,  
М.Ш. Шардарбек<sup>2</sup>, Б. Абзалбекулы<sup>3</sup>,  
Р.Т. Кауымбаев<sup>4</sup>, Ф.Р. Ташмухамедов<sup>5</sup>,  
Э.Е. Сарыбаева<sup>6</sup>, Г.Т. Ораз<sup>7</sup>, Р.А. Жетербаева<sup>8</sup>

©



<sup>1,8</sup>Докторант, <sup>2</sup>Канд. техн. наук, доцент, <sup>3</sup>PhD, ассоц. профессор, <sup>4</sup>PhD  
<sup>5</sup>PhD, и.о. доцента, <sup>6,7</sup>PhD, ст. преподаватель

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5382-9064> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-9787-5684>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-9552-0388> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-6538-5947>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-7579-5061> <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0001-7579-5061>  
<sup>7</sup><https://orcid.org/0000-0002-7652-5319> <sup>8</sup><https://orcid.org/0000-0002-9552-0388>



<sup>1,2,3,4,5,6,7,8</sup>Таразский университет им. М.Х. Дулати,



г. Тараз, Казахстан



<sup>1</sup>[janebklk@gmail.com](mailto:janebklk@gmail.com)

<https://doi.org/10.55956/HGGU9407>

## ОБРАБОТКА ШЕРСТЯНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ БУРОЙ: АНТИМИКРОБНЫЕ СВОЙСТВА И ОГНЕСТОЙКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

**Аннотация.** В работе рассмотрено влияние обработки шерстяных изоляционных материалов бурой на их антимикробные, огнестойкие и теплоизоляционные свойства. Проведенные эксперименты показали, что бораты проявляют выраженные биоцидные свойства против бактерий, однако неэффективны в отношении плесневых грибов. Обработка образцов сопровождалась снижением теплоудержания на 3-4% по сравнению с контрольными. Тем не менее уменьшение показателя не является критичным и компенсируется улучшением биоцидных характеристик материала. Обзор литературных данных подтвердил перспективность использования буры в качестве антипирена, что открывает возможности комплексного повышения эксплуатационных свойств шерстяных теплоизоляционных материалов.

**Ключевые слова:** овечья шерсть, бура, биоцидная обработка, антимикробный эффект, огнестойкость, теплоудержание, изоляционные материалы.



Боркулакова, Ж.К. Обработка шерстяных изоляционных материалов бурой: антимикробные свойства и огнестойкий потенциал [Текст] / Ж.К. Боркулакова, М.Ш. Шардарбек, Б. Абзалбекулы, Р.Т. Кауымбаев, Ф.Р. Ташмухамедов, Э.Е. Сарыбаева, Г.Т. Ораз, Р.А. Жетербаева // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.246-254. <https://doi.org/10.55956/HGGU9407>

**Введение.** В условиях современных требований к изоляционным материалам особое внимание уделяется их функциональной многозадачности. Теплоизоляционные материалы из натуральных волокон, в частности шерсти, представляют интерес благодаря экологичности, биосовместимости и способности регулировать влажностно-температурный режим. Однако ограниченное биологическое поведение шерсти сдерживает ее широкое применение в качестве изоляционного материала. Шерстяные волокна

подвержены воздействию микроорганизмов (бактерий, плесневых грибов), что снижает долговечность изделий.

Одним из перспективных подходов к решению указанных проблем является использование соединений бора, в частности буры, также известной как декагидрат тетрабората натрия. Бора известна своей биоцидной активностью, обеспечивающей защиту органических материалов от микробиологического разрушения, а также способностью действовать как антипирен. При нагревании она выделяет воду кристаллизации и формирует на поверхности волокон защитный стекловидный слой бората натрия, что способствует ингибированию горения. Комбинированное действие буры позволяет одновременно повышать микробиологическую стабильность и огнестойкость материалов, что делает ее особенно актуальной для обработки натуральных теплоизоляционных изделий.

Целью настоящего исследования является изучение антимикробных свойств шерстяных изоляционных материалов, обработанных бурой, а также анализ огнезащитного потенциала соединений бора применительно к шерсти. В работе представлены экспериментальные результаты по биоцидной эффективности обработки, оценка их теплоудерживающей способности, а также обзор литературных данных по огнезащитному потенциалу соединений бора применительно к шерстяным волокнам.

**Условия и методы исследований.** В качестве исследуемого материала использован нетканый материал, изготовленный из овечьей шерсти иглопробивным способом. Для определения антимикробной активности были подготовлены образцы, обработанные водным раствором буры (натрий тетраборат декагидрат,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) в концентрациях 10%, 15% и 20%. Контрольный образец без обработки использовался для сопоставления результатов. Обработка проводилась методом импрегнации (пропитки).

Образцы были разрезаны на фрагменты 20×20 мм. Антимикробные свойства исследовали в отношении следующих микроорганизмов:

- *Escherichia coli* (грамотрицательная бактерия);
- *Aspergillus spp.* (плесневый гриб).

Оценка антимикробной активности образцов проводилась в соответствии с МУК 4.2.1890-04 «Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. Методические указания» [1]. Антимикробную активность определяли по наличию зоны подавления роста микроорганизмов вокруг образца. Испытания были проведены в Научно-исследовательской лаборатории по оценке качества и безопасности продовольственных продуктов АО «Алматинский технологический университет» (г. Алматы) при стандартных условиях (температура 21°C, относительная влажность 64%).

Для оценки влияния обработки на теплофизические свойства материала были проведены испытания по измерению теплоудерживающей способности образцов. Исследования проводились в лаборатории «CENTEXUZ» Ташкентского института текстильной и легкой промышленности (г. Ташкент). Оценка теплоудержания проводилась согласно ASTM D1518-85 [2] с использованием прибора теплопроводности «AW-2». Перед испытаниями все образцы размером 300×300 мм были кондиционированы при относительной влажности 65% и температуре 22°C. Для оценки теплоудерживающих свойств использовались четырехслойные образцы нетканого материала одинаковой структуры и плотности. Одна часть образцов не подвергалась обработке и использовалась в качестве контрольной группы, другая – была обработана

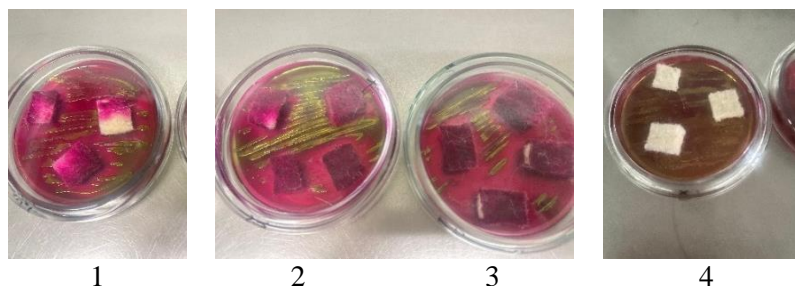
раствором технической буры. Оценка теплоудержания осуществлялась методом измерения продолжительности работы нагревателя с образцом и без него. Показатель коэффициента теплоудержания (%) рассчитывался по формуле:

$$\text{Теплоудерживаемость (\%)} = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \times 100 \quad (1)$$

где: а – продолжительность работы нагревателей без образца, сек; b – продолжительность работы нагревателей с образцом, сек.

В рамках подготовки исследования по оценке свойств шерстяных материалов, обработанных бурой, был проведен обзор литературных источников, посвященных ее применению в текстильных материалах и огнезащитным свойствам. Обзор литературы проводился с использованием методов библиографического и сравнительно-аналитического анализа научных публикаций.

**Результаты исследований и их обсуждение.** *Антибактериальная активность против E. coli.* Оценка антибактериальной активности нетканых шерстяных материалов, обработанных различными концентрациями буры, проводилась в отношении бактерии *Escherichia coli* методом диффузии в агар. На рисунке 1 представлены результаты оценки зон ингибирования для каждого образца.



1 – обработанный 10% бурой; 2 – обработанный 15% бурой; 3 – обработанный 20% бурой; 4 – контрольный.

Рис. 1. Оценка антимикробной активности образцов против *E. coli*

Образец, обработанный раствором буры с концентрацией 10% (чашка Петри №1), демонстрировал наличие зоны подавления роста бактерий диаметром 2-3 мм. Контуры зоны ингибирования были слабо выражены, что свидетельствует о низкой, но присутствующей антибактериальной активности.

При обработке бурой в концентрации 15% (чашка Петри №2) наблюдалось расширение зоны ингибирования до 2-4 мм с более четкими границами, что указывает на умеренную эффективность антимикробного действия.

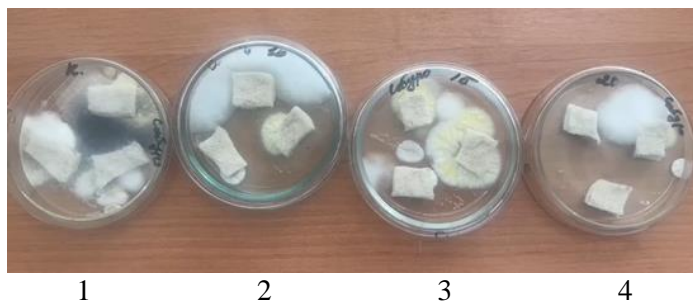
Максимальный эффект был достигнут при концентрации буры 20% (чашка Петри №3), где зона ингибирования составила 5-6 мм. В этой области

отсутствовал рост колоний *E. coli*, что подтверждает выраженную антибактериальную активность образца.

Контрольный образец, не подвергавшийся обработке бурой (чашка Петри №4), не продемонстрировал каких-либо признаков ингибирования роста бактерий. Бактериальная флора развивалась равномерно по всей поверхности питательной среды, включая область, прилегающую к образцу.

Полученные данные указывают на наличие дозозависимого антибактериального эффекта: с увеличением концентрации буры возрастает выраженность зоны ингибирования роста *E. coli*.

*Антимикотическая активность против Aspergillus spp.* Оценка противогрибковой активности исследуемых образцов нетканого шерстяного материала, обработанных раствором буры, проводилась методом культивирования на питательной среде с последующим наблюдением за ростом мицелия плесневого гриба рода *Aspergillus* (рис. 2). Визуальный анализ чашек Петри позволил определить степень ингибирования роста мицелия.



1 – контрольный; 2 – обработанный 10% бурой; 3 – обработанный 15% бурой; 4 – обработанный 20% бурой.

Рис. 2. Оценка антимикотической активности образцов против *Aspergillus spp.*

В контрольной чашке (чашка Петри №1), содержащей необработанный образец, наблюдался активный рост *Aspergillus*. Мицелий распространялся вплотную к образцу, охватывая его по периметру. Это свидетельствует об отсутствии какого-либо антимикотического эффекта.

Образец, обработанный раствором буры в концентрации 10% (чашка Петри №2), также демонстрировал рост мицелия, однако плотность и скорость распространения грибка были ниже по сравнению с контрольным образцом. Рост оставался вблизи поверхности, без формирования выраженной зоны подавления.

В образце с 15% концентрацией буры (чашка Петри №3) рост мицелия сохранялся, при этом гриб частично охватывал центр чашки, что указывает на сохранение жизнеспособности *Aspergillus* даже при повышенной концентрации антисептика.

Наибольший визуальный эффект отмечался при обработке 20% раствором буры (чашка Петри №4). В данном случае рост мицелия был менее интенсивным, его распространение ограничивалось периферией чашки. Однако зона ингибирования не формировалась четко, края образца частично покрывались грибом, и подавление роста происходило неравномерно.

Несмотря на некоторое снижение интенсивности роста *Aspergillus* при повышении концентрации раствора, четко выраженной зоны ингибирования не наблюдалось. Это свидетельствует о том, что используемый метод модификации обладает ограниченным эффектом против плесневых грибов и требует дальнейшей оптимизации для повышения фунгицидной эффективности.

*Теплоудерживающие свойства образцов.* В целях определения влияния обработки на теплотехнические характеристики, образцы нетканых материалов были разделены на две группы: контрольную (без обработки) и экспериментальную (обработанную водным раствором технической буры десятиводной). Результаты представлены на рисунке 3.

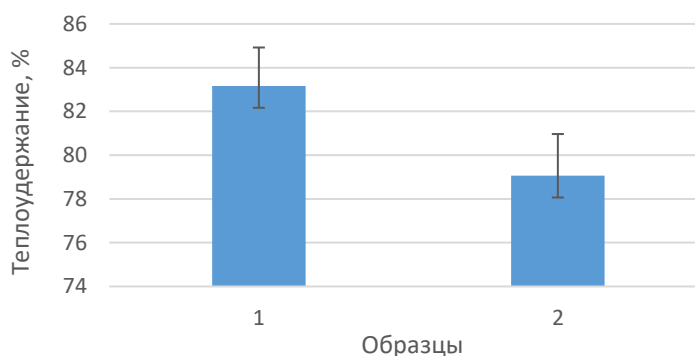


Рис. 3. Сравнительная теплоудерживающая способность обработанных и необработанных образцов

Установлено, что в контрольной группе теплоудержание варьировалось в диапазоне от 81,5% до 85%, а образцы, обработанные раствором буры, продемонстрировали показатели в пределах 77,2-81%. Снижение среднего значения теплоудержания в обработанных образцах по сравнению с контрольными составило около 3-4%. Данное уменьшение может быть обусловлено частичным заполнением межволоконных пор кристаллами буры, что снижает долю воздуха – основного теплоизоляционного компонента в структуре шерстяных материалов. Однако снижение показателя не является критичным и компенсируется улучшением биоцидных свойств материала.

*Обзор огнестойких свойств шерсти и антипиренового действия буры.* Шерсть относится к числу природных волокон, обладающих относительно высокой естественной огнестойкостью по сравнению с другими текстильными материалами растительного или синтетического происхождения. Это свойство обусловлено ее химическим составом и структурой: кератиновые волокна содержат значительное количество азота (15-16%) и серы (3-4%), а также имеют высокую степень влагосодержания (8-16%). Шерсть обладает высоким пределом кислородного индекса (LOI). Благодаря высокому LOI и химическому составу и структуре волокна, для горения шерсти требуется больше кислорода, чем есть в обычной атмосфере. При нагревании шерсти происходит последовательный пиролиз: от 167 до 197°C начинается выделение аммиака и углекислого газа; при 230-240°C разрушается спиральная структура кератина; в диапазоне 250-295°C происходит выделение сернистых соединений ( $H_2S$ ,  $SO_2$ ) и образование угольного защитного слоя; при дальнейшем нагреве (270-320°C) продолжается выделение  $SO_2$ , тиолов и

других летучих продуктов. Формирование углистого остатка препятствует доступу кислорода к материалу и подавляет дальнейшее горение. Таким образом пиролиз (начало термического разложения) начинается при 245°C, воспламенение – 228-230°C, стадия полного горения – при 570-60°C [3-5].

Для повышения огнезащитных характеристик шерстяных материалов широко применяются различные антипирены – химические вещества, замедляющие или предотвращающие процесс горения. Огнезащитные добавки как правило состоят из соединений, содержащих такие элементы, как фосфор (в различных органических и неорганических формах); галогены (бромированная, хлорированная органика, фториды циркония); кремний (органическая или неорганическая формы); бор; металлы (гидроксиды Al, Mg, Ca, фосфинаты Al, Zn и Ca, а также бораты цинка, фториды циркония); азот (отдельно или вместе с фосфором, неорганическим или органическим); сурьма (оксиды вместе с галогенами) [6]. Такое разнообразие обусловлено различными механизмами действия добавок на процесс горения. На этом фоне соединения бора выделяются своей способностью сочетать газофазный и конденсофазный механизмы ингибирования пламени. Бура (декагидрат тетрабората натрия,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) представляет собой неорганическую соль борной кислоты. Бура и ее производные используются в качестве антипиренов благодаря способности при нагревании выделять воду кристаллизации (дегидратация при нагревании) и образовывать защитный стекловидный слой бората натрия на поверхности волокон. Этот слой препятствует доступу кислорода к материалу, а также стабилизирует угольный остаток, снижая скорость теплопередачи [7-10]. Особое внимание уделяется сочетанию буры и борной кислоты. Установлено, что бура эффективно препятствует распространению пламени по поверхности материала, однако может способствовать тлению. Напротив, борная кислота снижает интенсивность тлеющего горения, но слабо влияет на распространение пламени. Поэтому их совместное использование обеспечивает более сбалансированную огнезащиту. На практике часто применяется раствор буры и борной кислоты, известный как полибор, с общей формулой  $\text{Na}_2\text{B}_x\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . При добавлении буры ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) в насыщенный раствор борной кислоты растворимость системы возрастает: полимеризация полиборатов удаляет из раствора свободные ионы борной кислоты и борат-ионы, позволяя раствориться большему количеству компонентов. Полученный раствор (с отношением  $\text{Na}_2\text{O}/\text{B}_2\text{O}_3$ , близким к максимуму растворимости) образует полибор, который легко растворяется в воде, формируя пересыщенные растворы. Высокая растворимость и стабильность этого продукта делает его удобным для применения в качестве антипирена при обработке различных материалов [11,12].

Сравнительный анализ данных показывает, что эффективность буры как антипирена зависит от концентрации и метода введения в материал. Например, в исследовании LeVan и Tran отмечено, что для древесины требуются уровни загрузки не менее 7,5% (около 48 кг/м<sup>3</sup>) буры-борной кислоты (Ba-Bx) для достижения заметного огнезащитного эффекта [7]. В работе Gilbert и Liepins введение бора на уровне изначальных 2-3%, которое снижалось до стабильных 0,3-0,5% после промывки шерстяного материала, обеспечивало надежную огнезащиту, эффект сохранялся до семи процедур стирки. Ценным результатом стало использование буры и борной кислоты в качестве источников бора, тогда как метилполиборат оказался наименее эффективным. Этот пример показывает, что даже минимальное содержание бора, равномерно

введенное и прочно закрепленное, может значительно улучшить огнестойкость шерстяных материалов при умеренной устойчивости к стирке [13]. В работе Hassan показано, что обработка смесовой ткани полиэстер-хлопок раствором, содержащим буру и борную кислоту, приводит к росту кислородного индекса (LOI) и образованию более плотного угольного слоя. При этом повышение концентрации буры усиливало огнезащитный эффект, но сопровождалось снижением прочности и воздухопроницаемости ткани [10]. В исследованиях Lili отмечено, что антипирены, содержащие борную кислоту или буру, эффективно снижают тепловыделение и дымовыделение бамбукового волокна. Однако влияние химических веществ на процесс горения было совершенно разным: бура продемонстрировала лучшую эффективность в сдерживании скорости тепловыделения, чем борная кислота, в то время как для общего количества тепловыделения и дымовыделения результат был обратным. Рекомендуемым соотношением Ва-Вх было 1:1. Волокна были обработаны погружением в растворы различной концентрации при температуре 100°C на 2 часа, с последующим помещением в камеру для кондиционирования при температуре 50°C и относительной влажности 60% [8]. Водорастворимые антипирены проще всего наносить пропиткой ткани водным раствором антипирена с последующей сушкой, также можно наносить распылением или кистью. Для текстильных материалов чаще всего применяется метод пропитки с последующей термофиксацией (pad-dry-cure), либо просто пропитки (impregnation).

Таким образом, анализ литературных данных показывает, что эффективность буры и ее производных как антипиренов для шерсти и других целлюлозных или белковых материалов определяется рядом факторов: концентрацией вводимого вещества, способом обработки и устойчивостью закрепления антипирена в структуре волокна. Даже небольшие количества бора (0,3-0,5%), прочно удерживающиеся в материале, способны обеспечить заметное повышение огнестойкости, тогда как для древесины и смесовых тканей требуются более высокие уровни загрузки (от 7,5% и выше). Сочетание буры и борной кислоты позволяет сбалансировать противоположные эффекты – ограничение распространения пламени и подавление тления, что делает такие композиции более универсальными. При этом важно учитывать побочные последствия увеличения концентрации антипирена, в частности снижение механических свойств и воздухопроницаемости тканей. Перспективным направлением остается оптимизация методов введения бора (в первую очередь пропитки с термофиксацией, pad-dry-cure), а также поиск комбинаций с другими огнезащитными агентами, позволяющих достичь высокой долговечности и экологической безопасности огнезащиты текстильных материалов.

**Заключение.** Проведенные исследования показали, что обработка шерстяных изоляционных материалов бурой позволяет комплексно модифицировать их свойства. Экспериментальная оценка подтвердила наличие антимикробной активности в отношении бактерий *Escherichia coli*, при этом устойчивость к развитию плесневых грибов рода *Aspergillus* отсутствовала.

По результатам теплофизических испытаний установлено, что снижение среднего значения теплоудержания обработанных образцов по сравнению с контрольными составило 3-4%. Данное уменьшение может быть связано с частичным заполнением межволоконных пор кристаллами буры, что снижает долю воздуха – основного теплоизоляционного компонента. Тем не менее

снижение не является критичным и компенсируется улучшением биоцидных свойств материала.

Литературный анализ и экспериментальные данные также подтверждают перспективность применения буры в качестве антипирена: соединения бора обеспечивают дополнительную огнезащиту шерстяных материалов за счет сочетания газофазного и конденсофазного механизмов ингибирования горения.

Таким образом, обработка шерстяных изоляционных материалов бурой может рассматриваться как эффективный путь комплексной модификации, позволяющий объединить биоцидные и огнезащитные свойства в едином материале.

#### Список литературы

1. Opredelenie chuvstvitel'nosti mikroorganizmov k antibakterial'nym preparatam: Metodicheskie ukazaniya [Determination of the Sensitivity of Microorganisms to Antibacterial Agents: Methodological Guidelines]. – Moscow: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia, 2004. – 91 p. [in Russian].
2. ASTM D1518-85. Standard Test Method for Thermal Transmittance of Textile Materials, 2003.
3. Horrocks A.R., Anand S.C. (ed.). Handbook of technical textiles. – Elsevier, 2000.
4. Cardamone J.M. Flame resistant wool and wool blends //Handbook of fire resistant textiles. – Woodhead Publishing, 2013. – 245-271 p.
5. Brebu M., Spiridon I. Thermal degradation of keratin waste //Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2011. – Vol. 91. – No. 2. – P. 288-295.
6. Gaan S. et al. Flame retardant functional textiles //Functional textiles for improved performance, protection and health. – Woodhead Publishing, 2011. – 98-130 p.
7. LeVan S.L., Tran H.C. The role of boron in flame-retardant treatments //First International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives. – Madison, WI: Forest Products Research Society, 1990. – P. 39-41.
8. Yu L. et al. Effects of boric acid and/or borax treatments on the fire resistance of bamboo filament //BioResources. – 2017. – Vol. 12. – No. 3. – P. 5296-5307.
9. Zhang Q. et al. Flame retardance and thermal stability of wool fabric treated by boron containing silica sols //Materials & Design. – 2015. – Vol. 85. – P. 796-799.
10. Hassan M.N. et al. Analysis of the flame retardancy effect of boron-containing compound on polyester-cotton blended fabric //Heliyon. – 2024. – Vol. 10. – No. 13.
11. LeVan S.L. Chemistry of fire retardancy. The chemistry of solid wood // In Advances in chemistry series // Rowell, R. (ed). – American Chemical Society: Washington, D.C., USA. 1984. – 207 p.
12. Kumar R., Gunjal J., Chauhan S. Effect of borax-boric acid and ammonium polyphosphate on flame retardancy of natural fiber polyethylene composites //Maderas. Ciencia y tecnología. – 2022. – Vol. 24.
13. Gilbert S., Liepins R. Treatment for improving flame retardancy of wool and minimizing toxic gas evolution in burning //Journal of Applied Polymer Science. – 1972. – Vol. 16. – No. 4. – P. 1009-1016.

*Исследования выполнены в рамках проекта BR24992867 «Разработка ресурсосберегающих технологии для развития и управления водным хозяйством и перерабатывающей промышленностью Казахстана, создание инновационного инжинирингового центра», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 20.08.25, принят 12.09.25.*

**Ж.К. Боркулакова<sup>1</sup>, М.Ш. Шардарбек<sup>1</sup>, Б. Абзалбекулы<sup>1</sup>, Р.Т. Кауымбаев<sup>1</sup>,  
Ф.Р. Ташмухамедов<sup>1</sup>, Э.Е. Сарыбаева<sup>1</sup>, Г.Т. Ораз<sup>1</sup>, Р.А. Жетербаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан*

**ЖҮННЕН ЖАСАЛҒАН ОҚШАУЛАҒЫШ МАТЕРИАЛДАРДЫ БУРАМЕН ӨҢДЕУ:  
АНТИМИКРОБТЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ ЖӘНЕ ОТҚА ТӨЗІМДІЛІК ӘЛУЕТИ**

**Аңдатпа.** Бұл жұмыста жүннен жасалған оқшаулағыш материалдарды бурамен өңдеудің антимикробтық, отқа төзімділік және жылуоқшаулағыш қасиеттеріне әсері қарастырылды. Жүргізілген эксперименттер нәтижесінде бора тұздарының бактерияларға қарсы айқын биоцидтік қасиет көрсететіні, алайда зең саңырауқұлақтарына қарсы тиімсіз екені анықталды. Өңделген үлгілердің жылу ұстау қабілеті бақылау үлгілеріне қарағанда 3-4%-ға төмендеді. Дегенмен бұл көрсеткіштің азаюы айтарлықтай емес және материалдың биоцидтік сипаттарының жақсаруы арқылы теңгеріледі. Әдеби деректерге жасалған шолу бураның антипирен ретінде қолдану мүмкіндігін растады, бұл жүннен жасалған жылуоқшаулағыш материалдардың пайдалану қасиеттерін кешенді түрде арттыруға жол ашады.

**Тірек сөздер:** қой жүні, бура, биоцидтік өңдеу, антимикробтық әсер, отқа төзімділік, жылу ұстау, оқшаулағыш материалдар.

**Zh.K. Borkulakova<sup>1</sup>, M.Sh. Shardarbek<sup>1</sup>, B. Abzalbekuly<sup>1</sup>, R.T. Kauymbaev<sup>1</sup>,  
F.R. Tashmukhamedov<sup>1</sup>, E.E. Sarybaeva<sup>1</sup>, G.T. Oraz<sup>1</sup>, R. Zheterbayeva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan*

**TREATMENT OF SHEEP WOOL INSULATION MATERIALS WITH BORAX: ANTIMICROBIAL  
PROPERTIES AND FIRE-RETARDANT POTENTIAL**

**Abstract.** The study examines the effect of borax treatment on the antimicrobial, fire-retardant, and thermal insulation properties of sheep wool-based materials. The experiments demonstrated that borates exhibit pronounced biocidal activity against bacteria but are ineffective against mold fungi. The treatment of samples resulted in a 3-4% reduction in warmth retention compared to the control samples. However, this decrease is not critical and is offset by the improvement in the biocidal characteristics of the material. A review of the literature confirmed the promising potential of borax as a flame retardant, offering opportunities for the comprehensive enhancement of the performance properties of wool insulation materials.

**Keywords:** sheep wool, borax, biocidal treatment, antimicrobial effect, fire retardancy, warmth retention, insulation materials.

МРНТИ 67.09.33

Н.М. Беккалиев<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
Д.С. Дуйсембинов<sup>2</sup>, Е.Е. Сабитов<sup>3</sup>, А.А. Жумагулова<sup>4</sup>



<sup>1</sup>Магистр, Докторант, <sup>2,3,4</sup>Канд. техн. наук, доцент

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7745-1358> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-6118-5238>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-3784-8657> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-6310-2501>



<sup>1,2,3,4</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,



г. Астана, Казахстан



<sup>1</sup>[Nurlan\\_b-90@mail.ru](mailto:Nurlan_b-90@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/ECUX7838>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВЛЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ ПУДРЫ НА ПАРАМЕТРЫ, ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА ГАЗОБЕТОНА

**Аннотация.** Производство газобетонов осуществляется с использованием газообразующих добавок – преимущественно алюминиевой пудры или пасты, которые вступают в реакцию с гидроксидом кальция в водной среде, в результате чего формируются поры за счет выделения водорода. Объем вводимого газообразователя подбирается в зависимости от требуемых характеристик конечного продукта. Целью данной работы является исследование физико-механических свойств легкого газобетона, полученного с применением золы-уноса с низким содержанием кальция и доменного шлака. Установлено, что увеличение дозировки алюминиевой пудры в составе смеси приводит к снижению плотности материала вследствие роста пористости, что, в свою очередь, негативно отражается на его прочности при сжатии и изгибе.

**Ключевые слова:** газобетон, ячеистый бетон, алюминиевая пудра, производственные отходы.



Беккалиев, Н.М. Исследование влияния добавления алюминиевой пудры на параметры, формирование структуры и свойства газобетона [Текст] / Н.М. Беккалиев, Д.С. Дуйсембинов, Е.Е. Сабитов, А.А. Жумагулова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.255-262. <https://doi.org/10.55956/ECUX7838>

**Введение.** Одними из наиболее массовых промышленных отходов в мире являются топливная зола-уноса и доменный шлак. Зола-уноса образуется в виде мелкодисперсных частиц при сжигании угля на тепловых электростанциях и уносится с дымовыми газами [1,2]. Эти частицы преимущественно состоят из оксидов кремния, алюминия, железа и серы, а также могут включать остатки несгоревшего угля [3,4]. Доменный шлак представляет собой побочный продукт производства чугуна из рудного сырья, формирующийся в виде гранул размером от 10 до 200 мм [5,6].

В условиях активной индустриализации и ускоренного роста производства электроэнергии и металлургической продукции в нашей стране наблюдается значительное увеличение объема таких отходов. Это создает

проблемы с утилизацией и размещением на полигонах, особенно в условиях ограниченной территории [7]. При неправильном хранении зола и шлаки могут загрязнять окружающую среду, включая водоемы и почвы [8].

В связи с этим, одной из приоритетных задач в стране становится реализация принципов циркулярной экономики, предполагающей ресурсосбережение и повторное использование промышленных побочных продуктов. Использование золы-уноса и шлаков в строительной отрасли, в частности в производстве бетонных материалов, представляет собой не только экологически, но и экономически целесообразное решение.

Газобетон – это ячеистый материал, получаемый путем газообразования внутри цементной смеси. При введении алюминиевых порошков или паст в состав образуется легкая пористая структура, востребованная в строительстве. Такой материал применяется как для тепло- и звукоизоляции [2,9], так и в несущих и огнестойких конструкциях, а также позволяет снижать общий вес строительных элементов и нагрузку на фундамент [3,4], что особенно актуально в сейсмоопасных районах. Благодаря этим свойствам, снижаются затраты на строительство [10].

Типичный легкий бетон обладает сухой плотностью в пределах от 300 до 2000 кг/м<sup>3</sup>, а его прочность на сжатие спустя 28 суток твердения варьируется от нескольких мегапаскалей до 60 МПа [11].

Целью настоящего исследования являлось выявление зависимости физико-механических характеристик легкого газобетона от содержания алюминиевой пудры при использовании золы-уноса и доменного шлака в качестве сырьевых компонентов.

**Условия и методы исследований. Применяемые материалы.** Для изготовления легких газобетонных образцов использовались следующие компоненты:

1. Портландцемент марки ЦЕМ II 42,5 Н, произведённый на предприятии «Стандарт цемент» (г. Шымкент). Этот цемент имел истинную плотность 3,15 г/см<sup>3</sup> и удельную поверхность 3650 см<sup>2</sup>/г. Химический и минералогический составы клинкера представлены в таблицах 1 и 2.

2. Топливная зола-уноса (ЗУ) – материал низкокальциевой (кислой) природы, обладающий повышенной пуццоланической активностью за счёт высокого содержания аморфного кремнезёма.

3. Доменный шлак (ДШ) – побочный продукт металлургической промышленности, использовавшийся в качестве мелкофракционного заполнителя. Он также обладает гидравлической активностью и способствует увеличению прочности.

Химико-физические характеристики доменного шлака и топливной золы-уноса приведены в таблице 3.

Таблица 1

Химический состав клинкера портландцемента, %

CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	ППП
62,23	22,27	5,37	4,12	2,40	2,63	0,98

Примечание: ППП – потери при прокаливании.

Таблица 2

Минералогический состав клинкера, %

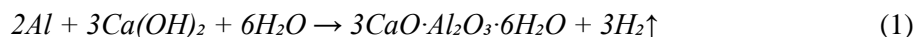
C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	Примеси
56,3	23,4	4,7	12,4	3,2

Таблица 3

Свойства золы-уноса и доменного шлака

Показатель	Зола	Доменный шлак
Химический состав, %		
SiO <sub>2</sub>	54,2	36,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,3	12,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,8	3,4
SO <sub>3</sub>	2,5	5,7
K <sub>2</sub> O	1,5	0,4
Na <sub>2</sub> O	1,6	0,3
CaO	1,2	40,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,4	–
Потери при прокаливании	4,5	1,2
Физические свойства		
Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /г	5,82	0,37
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,35	2,92
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1575	1550
Водопотребность, % от массы	101	145

Алюминиевая пудра (АП) использовалась в качестве газообразующей добавки. Размер её частиц составлял 50-75 мкм. Истинная плотность – 2650 кг/м<sup>3</sup>, а насыпная – 1560 кг/м<sup>3</sup>. При взаимодействии с гидроксидом кальция в присутствии воды пудра вступает в реакцию с образованием водорода по следующей формуле:



Пластифицирующая добавка: суперпластификатор SR 5000F на основе поликарбоксилатов от компании «Super RD», плотность раствора которого составляла 1,12 г/см<sup>3</sup> при 20 ± 5°С. Этот пластификатор соответствует категории G по ASTM C494.

Вода, использованная для замешивания, соответствовала стандартам ГОСТ 23732-2011.

*Методика приготовления смесей.* Композиции газобетонных смесей рассчитывались методом абсолютных объемов с последующей экспериментальной корректировкой. Среднюю плотность определяли по ТCVN 3115:1993, а пористость – в соответствии с ГОСТ 12730.4-2020.

Прочность на сжатие (обозначение f<sub>cs</sub>, МПа) определялась на кубических образцах 150×150×150 мм после 28 суток нормального твердения согласно ГОСТ 10180-2012. Прочность на изгиб оценивалась на призмах размером 100×100×400 мм.

Соотношения компонентов газобетонной смеси приведены в таблице 4.

Таблица 4

Составные пропорции (относительно массы цемента)

Компонент	ДШ/Ц	ЗУ/Ц	SR5000/Ц	АП/Ц	В/Ц	Воздух, объем %
Значение	2,0	0,3	0,015	0,0025-0,01	0,5	2%

В рамках эксперимента применялись четыре варианта составов с различным количеством алюминиевой пудры – 0,25%, 0,5%, 0,75% и 1% от массы цемента (табл. 5).

Таблица 5

Составы бетонных смесей (в кг/м<sup>3</sup>)

Состав	АП, %	Ц	ДШ	ЗУ	В	SR5000	АП
№1	0,25	400	800	120	200	6	1
№2	0,50	400	800	120	200	6	2
№3	0,75	400	800	120	200	6	3
№4	1,00	400	800	120	200	6	4

**Результаты исследований и их обсуждение.** В ходе эксперимента было установлено, что изменение количества алюминиевой пудры оказывает существенное влияние на характеристики легкого газобетона, особенно на его пористую структуру, плотность и механическую прочность.

*Структура пористой системы.* Микроструктурный анализ показал, что увеличение дозировки алюминиевой пудры приводит к интенсификации газообразования в смеси, что выражается в формировании более развитой пористой структуры. Однако после достижения определённого уровня (0,75-1,00% от массы цемента) избыточное газообразование начинает вызывать слияние пор и нарушение однородности, что снижает прочностные показатели.

*Изменение плотности.* Наблюдается устойчивая тенденция к снижению плотности образцов при увеличении количества алюминиевой пудры. Это объясняется увеличением количества водорода, выделяющегося при взаимодействии пудры с гидроксидом кальция, и, как следствие, формированием большего объема замкнутых пор. Минимальная плотность зафиксирована при дозировке АП = 1,0%.

*Прочностные характеристики.* Результаты испытаний на сжатие и изгиб приведены в таблице 6. Отмечается, что оптимальный уровень прочности достигается при добавлении алюминиевой пудры в пределах 0,—0,75%. При дальнейшем увеличении содержания газообразующей добавки прочность резко снижается, что связано с ухудшением связности цементного матрикса и увеличением числа макропор. Влияние содержания алюминиевой пудры на прочность газобетонов на сжатие приведены на рисунках 1 и 2.

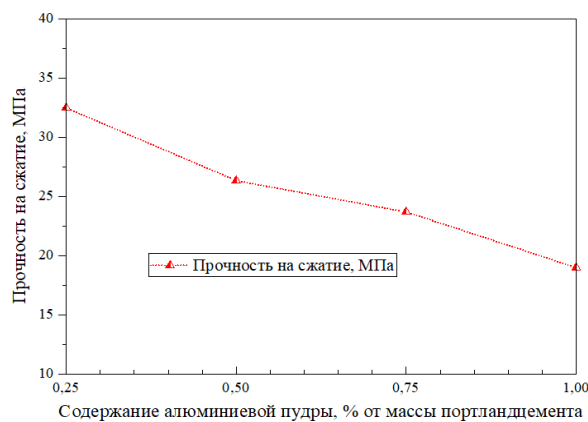


Рис. 1. Влияние содержания алюминиевой пудры на прочность газобетонов на сжатие в возрасте 28 суток

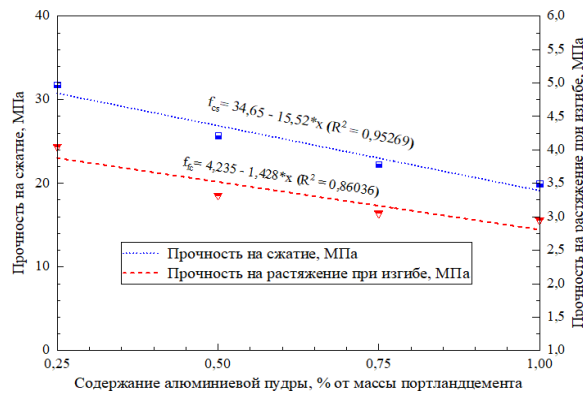


Рис. 2. Зависимость прочностных показателей газобетонов на сжатие и на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток от содержания алюминиевой пудры

Таблица 6

Свойства легкого газобетона в зависимости от количества алюминиевой пудры

Состав	АП, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа
№1	0,25	1295	7,75	1,41
№2	0,50	1240	8,50	1,58
№3	0,75	1155	6,96	1,26
№4	1,00	1095	5,38	1,02

Наибольшее значение прочности на сжатие (8,50 МПа) было получено при дозировке алюминиевой пудры 0,5%. При дальнейшем увеличении её содержания прочность уменьшалась, несмотря на снижение плотности. Это подтверждает, что оптимальный баланс между плотностью и прочностью достигается при умеренном газообразовании.

*Пористость и распределение пор.* Микрофотографии (рис. 3) показывают равномерное распределение мелких сферических пор в образцах с 0,5% алюминиевой пудры. В то же время при 1,0% наблюдается наличие крупных пор и участков порового слияния, указывающих на нестабильность структуры. Таким образом, увеличение содержания алюминиевой пудры способствует снижению плотности и улучшению теплоизоляционных свойств, однако чрезмерное её количество снижает прочность из-за ухудшения однородности пористой структуры.

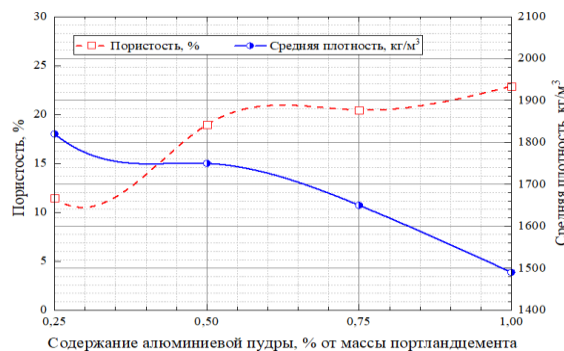


Рис. 3. Влияние содержания алюминиевой пудры на среднюю плотность и пористость газобетонов

Для корреляции полученных экспериментальных данных был использован метод линейной регрессии, в результате чего были получены уравнения (2) и (3) со значениями коэффициента корреляции ( $R^2$ ) соответственно 0,95269 и 0,86036 для прочности газобетонных образцов на сжатие и на растяжение при изгибе в зависимости от содержания алюминиевой пудры:

– для прочности на сжатие в возрасте 28 суток:

$$f_{cs} = 34,65 - 15,52 * x \quad (R^2 = 0,95269) \quad (2)$$

– для прочности на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток:

$$f_{fs} = 4,235 - 1,428 * x \quad (R^2 = 0,86036) \quad (3)$$

где,  $x$  соответствует содержанию алюминиевой пудры в бетонной смеси, в % от массы портландцемента.

**Заключение.** На основе анализа экспериментальных данных установлено, что увеличение количества алюминиевой пудры в составе легких газобетонных смесей оказывает существенное влияние на структуру и свойства получаемого материала. Рост содержания алюминиевой пудры приводит к интенсификации процессов газовыделения в реакционной среде за счёт более активного взаимодействия алюминия с гидроксидом кальция. Это способствует увеличению объема вовлеченного воздуха, что отражается на росте общей пористости бетона. Как следствие, наблюдается систематическое снижение средней плотности исследуемых образцов. Вместе с тем, увеличение пористости влечёт за собой ухудшение прочностных характеристик бетона – как при сжатии, так и при изгибе, что подтверждается результатами испытаний на 28 сутки твердения.

Несмотря на уменьшение прочностных показателей, газобетоны, изготовленные с различным содержанием алюминиевой пудры, сохранили свои конструкционные свойства в соответствии с требованиями ГОСТ 25820-2021. По значениям средней плотности и предела прочности на сжатие, все исследованные составы относятся к классу конструкционных легких бетонов. Это позволяет рассматривать их как потенциально пригодные материалы для изготовления сборных железобетонных изделий, в частности – стеновых панелей, применяемых в строительстве многоэтажных зданий, где особенно важны такие параметры, как снижение массы конструкций и повышение их теплоизоляционных свойств.

Использование в составе газобетонной смеси золы-уноса и доменного гранулированного шлака вместо части портландцемента позволило не только снизить расход вяжущего вещества, но и обеспечить более устойчивый с экологической точки зрения подход к производству строительных материалов. Зола-уноса и доменный шлак, обладающие высокой пуццоланической активностью, эффективно вовлекаются в процессы гидратации, формируя дополнительные прочностные соединения, в том числе гидросиликаты кальция. Таким образом, наряду с улучшением экологических характеристик, достигается значительное снижение себестоимости материала за счёт утилизации промышленных отходов.

### Список литературы

1. Малиновский, Б.Н. Технология ячеистых бетонов [Текст] / Б.Н. Малиновский. – М. : Стройиздат, 1986. – 320 с.
2. Юнусов, Л.Р. Легкие бетоны на основе золы-уноса [Текст] / Л.Р. Юнусов, И.А. Ахмедзянов. – Казань : КГАСУ, 2009. – 185 с.
3. Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D. Concrete / 2nd ed. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 2003. – 644 p.
4. Константинов, Л.А. Газобетоны: состав, свойства, применение [Текст] / Л.А. Константинов, В.Н. Кулаков. – СПб.: СПбГАСУ, 2015. – 214 с.
5. Lukpanov R.E., Dusembinov D.S., Yenkebayev S.B., Tsygulyov D.V. Ratio of the ash concentration to the cement binder in the composition of concrete with the use of a modified additive // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – P. 35-41.
6. Sabitov Y.Y., Dyussebinov D.S., Zhumagulova A.A., Bazarbayev D.O., Lukpanov R.E. Composite non-autoclaved aerated concrete based on an emulsion // Magazine of Civil Engineering. – 2021. – P. 132-138.
7. Lukpanov R., Dyussebinov D., Altynbekova A., Yenkebayev S., Zhumagulova A. Investigation of effect of proposed two-stage foam injection method and modified additive on workability of foam concrete // Materials. – 2024. – P. 72-79.
8. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – Введ. 2013.07.01. – М.: Стандартинформ, 2012. – 47 с.
9. ГОСТ 12730.4-2020. Бетоны. Метод определения пористости. – Введ. 2021.09.01. – М. : Стандартинформ, 2020. – 21 с.
10. ГОСТ 25820-2021. Бетоны. Классификация и общие технические требования. – Введ. 2022.09.01. – М. : Стандартинформ, 2021. – 15 с.
11. TCVN 3115-2022. Concrete – Method for determining density. – Hanoi: Ministry of Science and Technology of Vietnam, 2022. – 12 p.

*Материал поступил в редакцию 06.05.25, принят 02.09.25.*

**Н.М. Беккалиев<sup>1</sup>, Д.С. Дуйсембинов<sup>1</sup>, Е.Е. Сабитов<sup>1</sup>, А.А. Жумагулова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетіні, Астана қ., Қазақстан*

### **АЛЮМИНИЙ ҰНТАҒЫНЫҢ БЕТОННЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІНЕ, ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ**

**Аңдатпа.** Газдалған бетон өндірісі газ түзетін қоспаларды – негізінен алюминий ұнтағы немесе паста көмегімен жүзеге асырылады. Олар кальций гидроксидімен сулы ортада әрекеттеседі, нәтижесінде сутегінің бөлінуіне байланысты кеуектер пайда болады. Енгізілген газ түзетін агенттің көлемі соңғы өнімнің қажетті сипаттамаларына байланысты таңдалады. Бұл жұмыстың мақсаты – төмен кальцийлі күлді және домна пешінің қожын қолдану арқылы алынған жеңіл газды бетонның физика-механикалық қасиеттерін зерттеу. Қоспадағы алюминий ұнтағының дозасын ұлғайту кеуектіліктің жоғарылауынан материалдың тығыздығының төмендеуіне әкелетіні анықталды, бұл өз кезегінде оның қысу және иілу кезіндегі беріктігіне теріс әсер етеді.

**Тірек сөздер:** газдалған бетон, ұялы бетон, алюминий ұнтағы, өндірістік қалдықтар.

**N.M. Bekkaliyev<sup>1</sup>, D.S. Dyusseminov<sup>1</sup>, Y.Y. Sabitov<sup>1</sup>, A.A. Zhumagulova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

**STUDY OF THE EFFECT OF ALUMINUM POWDER ON THE PARAMETERS,  
STRUCTURE AND PROPERTIES OF CONCRETE**

**Abstract.** The production of aerated concrete is carried out using gas-forming additives – mainly aluminum powder or paste, which react with calcium hydroxide in an aqueous medium, resulting in pore formation due to the release of hydrogen. The amount of gas-forming agent introduced is selected depending on the required characteristics of the final product. The purpose of this study is to investigate the physical and mechanical properties of lightweight aerated concrete obtained with the use of low-calcium fly ash and blast furnace slag. It was found that increasing the dosage of aluminum powder in the mixture leads to a decrease in the density of the material due to increased porosity, which, in turn, has a negative effect on its compressive and flexural strength.

**Keywords:** aerated concrete, cellular concrete, aluminum powder, industrial waste.

**References**

1. Malinovskij, B.N. Tekhnologiya yacheistykh betonov [Technology of cellular concretes]. – Moscow : Strojizdat, 1986. – 320 p. [in Russian].
2. Yunusov, L.R., Akhmedzyanov, I.A. Legkie betony na osnove zoly-usosa [Lightweight concretes based on fly ash]. – Kazan KGASU, 2009. – 185 p. [in Russian].
3. Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D. Concrete / 2nd ed. – Upper Saddle River : Prentice Hall, 2003. – 644 p.
4. Konstantinov, L.A., Kulakov V.N. Gazobeton: sostav, svojstva, primenenie [Aerated concretes: composition, properties, application]. – Saint Petersburg : SPbGASU, 2015. – 214 p. [in Russian].
5. Lukpanov R.E., Duseminov D.S., Yenkebayev S.B., Tsygulyov D.V. Ratio of the ash concentration to the cement binder in the composition of concrete with the use of a modified additive // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – P. 35-41.
6. Sabitov Y.Y., Dyusseminov D.S., Zhumagulova A.A., Bazarbayev D.O., Lukpanov R.E. Composite non-autoclaved aerated concrete based on an emulsion // Magazine of Civil Engineering. – 2021. – P. 132-138.
7. Lukpanov R., Dyusseminov D., Altynbekova A., Yenkebayev S., Zhumagulova A. Investigation of effect of proposed two-stage foam injection method and modified additive on workability of foam concrete // Materials. – 2024. – P. 72-79.
8. GOST 10180-2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nym obraztsam [Concretes. Methods for determination of strength on control samples]. – Introduced: 2013.07.01. – Moscow : Standartinform, 2012. – 47 p. [in Russian].
9. GOST 12730.4-2020. Betony. Metod opredeleniya poristosti [Concretes. Method for determination of porosity]. – Introduced: 2021.09.01. – Moscow : Standartinform, 2020. – 21 p. [in Russian].
10. GOST 25820-2021. Betony. Klassifikatsiya i obshchie tekhnicheskie trebovaniya [Concretes. Classification and general technical requirements]. – Introduced: 2022.09.01. – Moscow : Standartinform, 2021. – 15 p. [in Russian].
11. TCVN 3115-2022. Concrete – Method for determining density. – Hanoi: Ministry of Science and Technology of Vietnam, 2022. – 12 p.

МРНТИ 67.13.25 : 70.17.47

А.Б. Толеш<sup>1</sup> – основной автор, ©  
А.Д. Мамитова<sup>2</sup>, Т.Ч. Тажиева<sup>3</sup>, О.К. Карлыханов<sup>4</sup>,  
Н.Н. Бакбергенов<sup>5</sup>, Ш.К. Шапалов<sup>6</sup>, Ф.Х. Аубакирова<sup>7</sup>



<sup>1,5</sup>Магистр, <sup>2,7</sup>Канд. техн. наук, доцент, <sup>3</sup>PhD, ассоц. профессор,  
<sup>4</sup>Д-р техн. наук, <sup>6</sup>PhD, профессор

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0007-0029-5143> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-2334-145X>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-5249-7616> <sup>4</sup><https://orcid.org/0009-0006-4697-4523>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0003-0152-8280> <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0002-3015-5965>  
<sup>7</sup><https://orcid.org/0000-0002-4687-1528>



<sup>1,2,6,7</sup>Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова,  
г. Шымкент, Казахстан

<sup>3</sup>Таразский университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

<sup>4,5</sup>Казахский Научно-Исследовательский Институт Водного Хозяйства,  
г. Тараз, Казахстан

@

<sup>5</sup>[bakbergenovnurlan@mail.ru](mailto:bakbergenovnurlan@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/DLRZ7541>

## К ВОПРОСУ УСТОЙЧИВОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ГРУНТОВОЙ ДАМБЫ КОКСАРАЙСКОГО КОНТРЕГУЛЯТОРА

**Аннотация.** Вопрос устойчивости и надежности грунтовой дамбы Коксарайского контррегулятора является ключевым для обеспечения безопасности эксплуатации данного сооружения для южного региона. Дамба играет важную роль в регулировании водных потоков, контроле уровня воды и предотвращении затоплений в регионе. Для оценки ее устойчивости необходимо учитывать геологические и гидрологические особенности участка, характеристики грунтов, а также воздействия внешних факторов, таких как динамическая нагрузка от водных масс и возможные природные катаклизмы. В статье рассмотрены основные аспекты устойчивости и надежности грунтовой дамбы Коксарайского контррегулятора, в частности, анализируются геологические и гидрологические условия, влияющие на эксплуатацию сооружения, а также методы оценки устойчивости и надежность грунтовой дамбы.

**Ключевые слова:** река Сырдарья, Шардаринское водохранилище, Коксарайский контррегулятор, устойчивость дамбы, методика расчета.



Толеш, А.Б. К вопросу устойчивости и надежности грунтовой дамбы Коксарайского контррегулятора [Текст] / А.Б. Толеш, А.Д. Мамитова, Т.Ч. Тажиева, О.К. Карлыханов, Н.Н. Бакбергенов, Ш.К. Шапалов, Ф.Х. Аубакирова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.263-273.  
<https://doi.org/10.55956/DLRZ7541>

**Введение.** Водохранилищные гидроузлы относятся к водохозяйственным объектам, имеющим высокую степень индивидуальности и неповторимости своей реализации, что определяет сложность их возведения и большую трудоемкость при эксплуатации. Часто эти факторы приводят к огромному материальному и финансовому ущербу при катастрофических авариях водохранилищ. При этом величина убытков для

экономики страны на порядок, или иногда на два порядка превышают затраты на строительство самого сооружения [1].

Мировой опыт эксплуатации водоподпорных сооружений показал, что при превышении возраста ГТС свыше 30-40 лет вероятность их аварий резко возрастает. Нужно отметить, что срок эксплуатации большей части водохранилища Казахстана значительно превосходит этот порог.

Но, на водохозяйственной практике имеются факты, которые свидетельствуют, что несмотря на малый срок эксплуатации ГТС вероятность аварий проявляется после 10-15 лет.

Одним из таких водохозяйственных объектов является Коксарайский контррегулятор, находящийся в бассейне реки Сырдарья ниже Шардаринского водохранилища.

Контррегулятор введен в строй в 2010 г. в ускоренном темпе после затяжных зимних паводков в нижнем течении реки. Расположение взаимосвязанных с Коксарайским контррегулятором – Шардаринского водохранилища на территории Казахстана и Арнасай-Айдаркольской озерной системы на территории Узбекистана (рис. 1.).

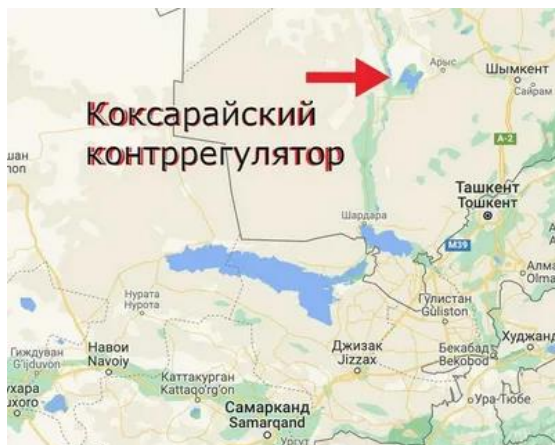


Рис. 1. Расположение взаимосвязанных водных объектов в зоне исследований

После 10-12 лет успешной эксплуатации по дамбе Коксарайского контррегулятора возникли аварийные ситуации, проявляющиеся в виде грифонов и суффозии через тело дамбы. В результате для избежания чрезвычайных ситуаций и обеспечения безопасности контррегулятора в целом накопление воды сокращено в 2 раза и за последние 2-3 года объем воды в нем не превышает 1,5 км<sup>3</sup>/год. Отмеченная ситуация является предметом настоящих исследований.

**Условия и методы исследований.** Исходные материалы и методы. Контррегулятор представляет собой наливной водоем на правом берегу реки Сырдарья с проектным объемом 3 км<sup>3</sup> (рис. 2).

Площадь водной акватории составляет 46,7 тыс. га, что делает его при таком объеме мелководным. Контррегулятор оснащен регулируемыми сооружениями: головное водозаборное сооружение на пропуск расхода 1800 м<sup>3</sup>/с, подводящий канал, длина которого составляет 16 км, на расход 500 м<sup>3</sup>/с, длина дамбы 44 км со средней высотой 7,7 м; Отводящий канал рассчитан на пропуск расхода 500 м<sup>3</sup>/с.

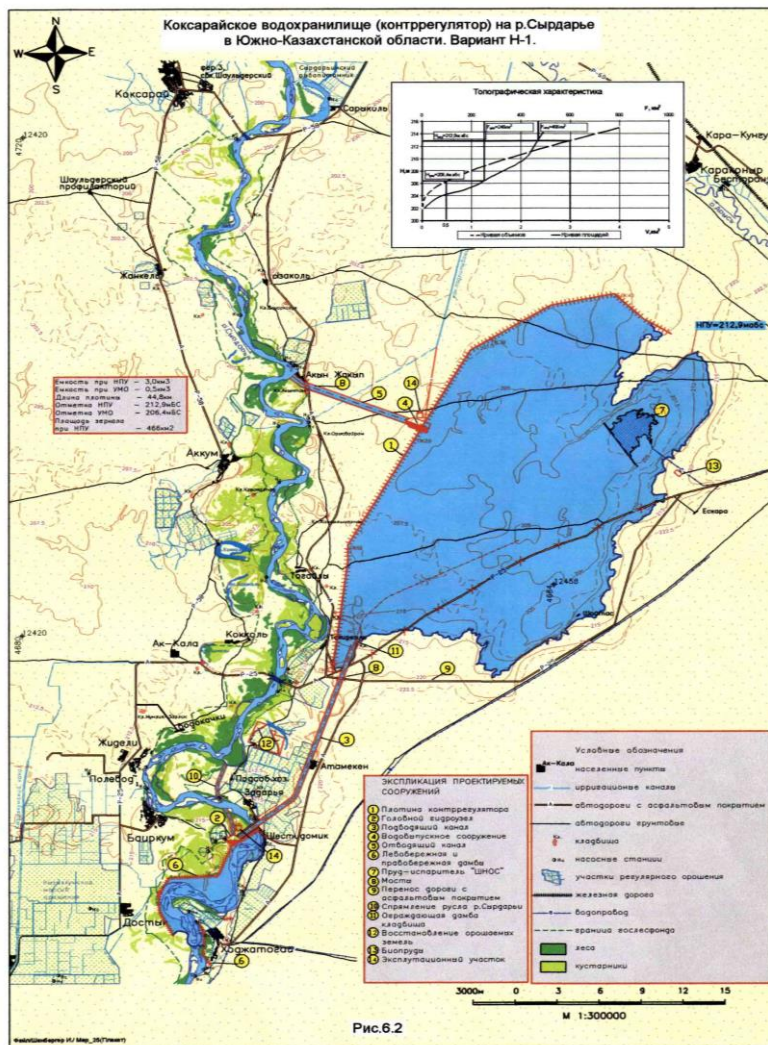


Рис. 2. Общий вид Коксарайского контррегулятора в створе реки Сырдарья

При обосновании назначения контррегулятора при таких параметрах были приняты следующие показатели [2]:

- обеспечение паводковой безопасности нижнего течения реки от Шардаринского водохранилища до Малого Арала;
- обеспечение устойчивости дамбы Шардаринского водохранилища при пропуске максимальных объемов и расходов;
- возможность создания контррегулирующего водоема ниже Шардаринского водохранилища при зимних энергопусках по реке Сырдарья;
- недопущение непроизводительных сбросов в Арнасай-Айдаркольскую озерную систему на территории Узбекистана.

Все принятые меры в совокупности должны улучшить водохозяйственную и экологическую обстановку в нижнем течении реки Сырдарья. При этом дополнительно обеспечивался водой не только Малый Арал, но и многочисленные озерные системы вдоль реки, особенно в дельте реки Сырдарья.

Накопление зимнего стока реки Сырдарья в контррегуляторе с ноября по март месяцы с последующим сбросом с апреля по июнь месяцы обратно в русло реки гарантирует экосток для низовой реки Сырдарья в годы разной водности и водоприток в дельту и Малый Арал [3].

В настоящее время контррегулятор решает следующие задачи:

- регулирование режима эксплуатации верховых водохранилищ. До его ввода водохозяйственный режим был неустойчивым, что приводило к ежегодным паводковым ситуациям и наводнениям населенных пунктов и инженерной инфраструктуры в нижнем течении реки, начиная со створа Томенарык р. Сырдарья;
- улучшение водообеспеченности дельтовых озерных систем р. Сырдарья, одновременно обеспечивая стабилизацию уровня воды в Малом Арале;
- снижение безвозвратных потерь при сбросе части стока в Арнасай-Айдаркольскую озерную систему, так как за 20 лет до строительства контррегулятора суммарные потери воды для нижнего течения реки составили не менее 30 км<sup>3</sup>.

Кроме преимуществ контррегулятор имеет ряд недостатков [4]:

- потери на испарение и фильтрацию в год составляют 0,3 км<sup>3</sup>;
- большая вероятность устойчивости тела дамбы длиной 44 км, что требует постоянного осмотра и контроля;
- затопление больших территорий из-за мелководной акватории контррегулятора.

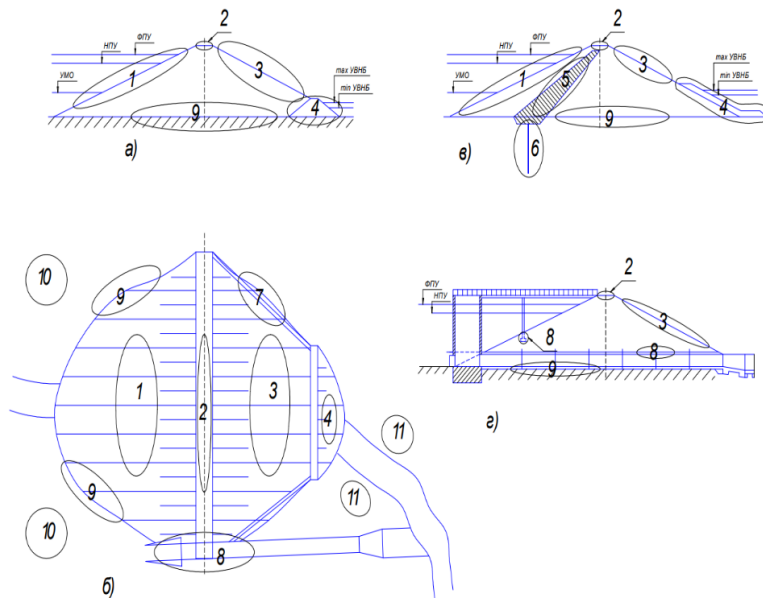
В этих условиях режим накопления и сброски объемов воды в контррегуляторе в нижнее течение реки имеет важное значение.

*Методы исследования* включают в себя: аналитический обзор литературных источников, сбор и анализ полевых данных о геологических условиях, свойствах грунтов и параметрах контррегулятора.

Применение методов оценки и расчета устойчивости откосов грунтовых плотин, анализ и обобщение полученных данных натурных исследований грунтовых плотин и откосов по всей длине контррегулятора позволят оценить устойчивости откосов грунтовых плотин с сочетанием визуальных наблюдений с измерениями на сооружениях, что позволяет не только констатации фактов, но и выявить возможные причины или характер проявления тех или иных зарегистрированных дефектов и процессов.

Натурные обследования проводились путем детальных осмотров сооружений, его элементов и территории с применением измерительных приборов, приспособлений и других методов распознавания включая оценку состояния и безопасности грунтовой плотины, верховых и низовых откосов, прогноз их изменения во времени, выявление отклонений от проектных решений, повреждений, дефектов и изменений физико-механических свойств материалов, которые могут послужить причиной аварии сооружений; выявление опасных изменений в процессах фильтрации, перемещения, осадки, уровня напряжений, происходящих в системе «сооружение – основание».

Визуальные наблюдения выполнены с помощью простейших измерений и инструментов. При этом выделены следующие основные элементы конструкции грунтовой плотины и возможные зоны ее повреждения (рис. 3).



1 – верховой откос (призма) и его крепление; 2 – гребень и его крепление; 3 – низовой откос (призма) и его крепление; 4 – дренаж; 5 – противофильтрационное устройство (ПФУ) в теле плотины; 6 – противофильтрационное устройство в основании; 7 – ливнеотводящие; дренажные каналы; 8 – зона сопряжения с бетонным сооружением; 9 – зона сопряжения с основанием; 10 – территория, прилегающая к плотине в верхнем бьефе; 11 – территория, прилегающая к плотине в нижнем бьефе.

Рис. 3. Зоны и фрагменты визуального и инструментального обследования верха дамбы, откосов и основания плотины

*Обзор предшествующих исследований.* Исторически первой работой по вопросу равновесия массива, ограниченного наклонной плоскостью (откосом), является работа У. Ренкина (1857). Шарлем Огюстеном де Кулоном в конце 18-го столетия для решения подобных задач заложена теоретическая база, основанная на анализе уравнений равновесия в плоскости, в пространстве или по какой-либо поверхности, отсекающей часть массива от целого. Получаемые решения определяют только предельные сочетания действующих нагрузок при заданных свойствах грунта (сцепление, угол внутреннего трения  $\phi$  и плотность  $\rho$ ). Первый способ расчета устойчивости откосов, основанный на принципе Кулона, был предложен в 1920 г. ученым Г. Франсе [5].

С появлением ЭВМ, инженерных языков программирования и CAD-систем, возникли условия для создания мощных геотехнических программ, реализующих классические методы предельного равновесия (LEM) с полной автоматизацией, численные методы: метод конечных элементов (FEM), конечных разностей (FDM), предельного анализа и возможности учета реальных грунтовых условий, сложной геометрии, многослойности, фильтрации, сеймики, изменения во времени [6].

В настоящее время наиболее популярные программы по расчету устойчивости состояния откосных сооружений: *Geo 5*, *GeoStab*, *GeoStudio Slope/W*, *Rocsciense Slide*, *Plaxis*, *GenIDE32* [7-12].

Алгоритм работы для всех программ идентичный. Первоначально создается модель откосного сооружения, на которой отображают все слои грунтов и конструктивные особенности. Каждому грунтовому материалу задают тип и его характеристики. К каждому объекту сооружения привязывают определенный тип грунта и строят поверхность скольжения круглоцилиндрической или полигональной формы. Расчет устойчивости производится по следующим методам: Bishop'a, Fellenius'a, Morgenstern and Price'a, Janbu, Sarma и конечных элементов.

**Результаты исследований и их обсуждение.** При обследовании устойчивости дамбы Коксарайского контррегулятора выявлены видимые деформации и просадки гребня, необходима полная заделка деформационных швов на откосах плотины, для предотвращения потерь воды из водохранилища, на железобетонных элементах водовыпуска наблюдаются значительные трещины и оголенная арматура, что требует проведения ремонта.

На плотине не имеется КИА, гидростов и освещения, сигнальные столбики, чаша водохранилища сильно заросла растительностью и частично заилена, необходимо восстановление проектной емкости контррегулятора. По гребню плотины проходит гравийная эксплуатационная дорога.

Грунты тела и основания плотины представлены суглинками темно-серого цвета, по показателю текучести от мягкопластичных до текучих с корнями растений. Грунты суффозионно не устойчивы, дренажная система работает.

Физико-механические свойства грунтов приняты согласно с отчетом по инженерно-геологическим изысканиям, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сводная таблица физико-механических свойств грунтов

Тип	Плотность г/см <sup>3</sup>		Удельн. сцепление, кПа		Угол внут. трения, град.	
	Ест.	Вод.	Ест.	Вод.	Ест.	Вод.
Дамба	1,78	1,92	23		16	
Основание	2,0	2,07	25		19	

Расчет показал, что коэффициент фильтрации грунта тела дамбы и основания одинаковы и равны 0,004 м/с.

Устойчивость откоса выполнена в программе «GEO5 Устойчивость откоса» версия 2024.122. Программа предназначена для проектирования и анализа устойчивости откосов (склонов) слоистого грунтового массива. Поверхность скольжения может быть круглоцилиндрической (методы Бишопа, Спенсера или Morgenstern-Прайса) или полигональной (метод Sarma, или Спенсера).

В программе задавались геометрические данные слоя, по встроенной базе данных грунтов и горных пород вводятся характеристики грунтов, возможно моделировать воздействие воды уровнем грунтовой воды или изолиниями порового напряжения и надежно оптимизировать круговые и полигональные поверхности скольжения. Результаты расчета по методу Бишопа приведены на рисунке 4, в таблице 2.

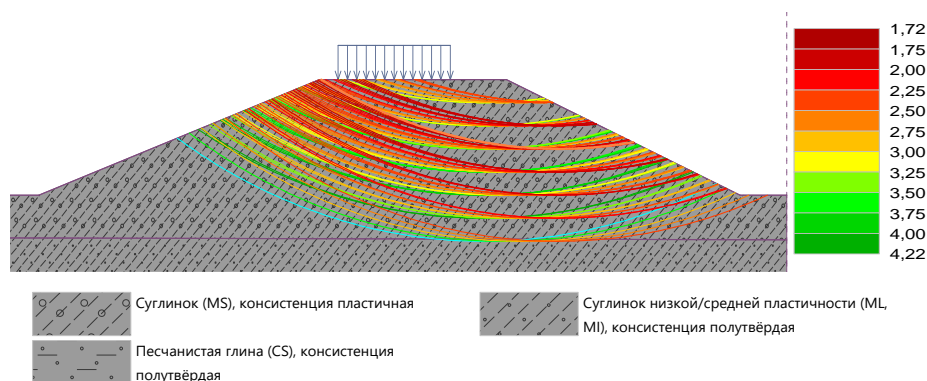


Рис. 4. Результаты проверки на устойчивость откосов

Таблица 2

Проверка устойчивости откоса (Bishop)

Суммирование активных сил:	$F_a =$	1932,98	кН/м
Суммирование пассивных сил:	$F_p =$	3323,82	кН/м
Оползневый момент:	$M_a =$	54722,74	кНм/м
Удерживающий момент:	$M_p =$	94097,22	кНм/м

Коэффициент запаса = 1,72 > 1,50.

Вывод – устойчивость откоса подходит.

Программа одновременно дает параметры исследуемых грунтов, что является надежной информацией при эксплуатации объекта. По этому методу эта информация приведена ниже.

Таблица 3

Параметры исследуемых грунтов

Суглинок (MS), консистенция пластичная		
Удельный вес:	$\gamma = 18,00$	кН/м <sup>3</sup>
Напряженное состояние:	эффективное	
Сопротивление сдвигу:	Mohr-Coulomb	
Угол внутреннего трения:	$\phi_{ef} = 26,50$	°
Удельное сцепление грунта:	$c_{ef} = 12,00$	кПа
Удельный вес водонасыщенного грунта:	$\gamma_{sat} = 18,00$	кН/м <sup>3</sup>
Суглинок низкой/средней пластичности (ML, MI), консистенция полутвердая		
Удельный вес:	$\gamma = 20,00$	кН/м <sup>3</sup>
Напряженное состояние:	эффективное	
Сопротивление сдвигу:	Mohr-Coulomb	
Угол внутреннего трения:	$\phi_{ef} = 21,00$	°
Удельное сцепление грунта:	$c_{ef} = 12,00$	кПа
Удельный вес водонасыщенного грунта:	$\gamma_{sat} = 20,00$	кН/м <sup>3</sup>
Песчанистая глина (CS), консистенция полутвердая		
Удельный вес:	$\gamma = 18,50$	кН/м <sup>3</sup>
Напряженное состояние:	эффективное	
Сопротивление сдвигу:	Mohr-Coulomb	
Угол внутреннего трения:	$\phi_{ef} = 24,50$	°
Удельное сцепление грунта:	$c_{ef} = 14,00$	кПа
Удельный вес водонасыщенного грунта:	$\gamma_{sat} = 18,50$	кН/м <sup>3</sup>

В программе так же возможен расчет сейсмического воздействия, который на этом этапе исследований не проведен.

Проверка устойчивости откоса, проведенная по методу Fellenius/Petterson показала идентичные показатели (рис. 5, табл. 4).

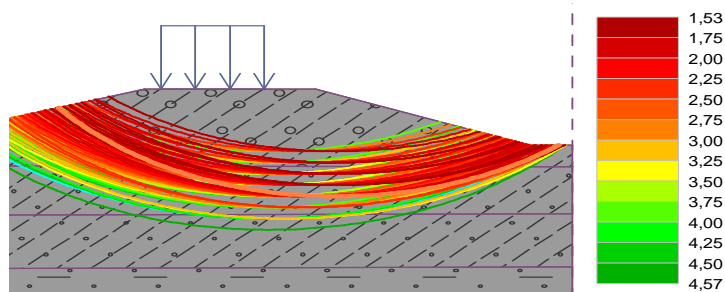


Рис. 5. Проверка устойчивости откоса по методу Fellenius/Petterson

Таблица 4

Проверка устойчивости откоса (Fellenius/Petterson)

Суммирование активных сил:	$F_a = 2476,91$	кН/м
Суммирование пассивных сил:	$F_p = 3790,83$	кН/м
Оползневый момент:	$M_a = 51136,41$	кНм/м
Удерживающий момент:	$M_p = 78262,70$	кНм/м

Коэффициент запаса =  $1,53 > 1,50$ .

Вывод – устойчивость откоса подходит.

Информация по параметрам исследуемых грунтов, по этому методу приведена ниже.

Таблица 5

Параметры исследуемых грунтов

Суглинок (MS), консистенция пластичная		
Удельный вес:	$\gamma = 18,00$	кН/м <sup>3</sup>
Напряженное состояние:	эффективное	
Сопротивление сдвигу:	Mohr-Coulomb	
Угол внутреннего трения:	$\phi_{ef} = 26,50$	°
Удельное сцепление грунта:	$c_{ef} = 12,00$	кПа
Удельный вес водонасыщенного грунта:	$\gamma_{sat} = 18,00$	кН/м <sup>3</sup>
Суглинок низкой/средней пластичности (ML, MI), консистенция полутвердая		
Удельный вес:	$\gamma = 20,00$	кН/м <sup>3</sup>
Напряженное состояние:	эффективное	
Сопротивление сдвигу:	Mohr-Coulomb	
Угол внутреннего трения:	$\phi_{ef} = 21,00$	°
Удельное сцепление грунта:	$c_{ef} = 12,00$	кПа
Удельный вес водонасыщенного грунта:	$\gamma_{sat} = 20,00$	кН/м <sup>3</sup>
Песчанистая глина (CS), консистенция полутвердая		
Удельный вес:	$\gamma = 18,50$	кН/м <sup>3</sup>
Напряженное состояние:	эффективное	
Сопротивление сдвигу:	Mohr-Coulomb	
Угол внутреннего трения:	$\phi_{ef} = 24,50$	°
Удельное сцепление грунта:	$c_{ef} = 14,00$	кПа
Удельный вес водонасыщенного грунта:	$\gamma_{sat} = 18,50$	кН/м <sup>3</sup>

**Заключение.** По данным визуального обследования, можно сделать вывод что грунтовая плотина находится удовлетворительном состоянии, но плотности грунтов тела обладают достаточно низкими показателями. Грунты тела и основания плотины представлены суглинками темно-серого цвета, по показателю текучести от мягкопластичных до текучих с корнями растений. Грунты суффозионно не устойчивые, дренажная система работает. При проведении полевых инженерно-геологических работ установлено, что из всех типов опасных инженерно-геологических процессов выделены процессы, описанные ниже: подтопление нижнего бьефа проявление данного процесса, наиболее активно происходит в весенний период во время паводков. В основном (эксплуатационном) расчетном случае плотина Коксарайского контррегулятора имеет запас устойчивости. Коэффициент запаса устойчивости низового откоса составляет  $K_{уст}=1,72$ . В данном расчетном случае рассмотрен уровень воды в верхнем бьефе на максимально возможной отметке ФПУ. Нагрузка на гребень НК. Устойчивость низового откоса обеспечена.

#### Список литературы

1. Голованов, А.И. Природообустройство [Текст] / А.И. Голованов, Ф.М. Зимин. – М.: Гос. ун-т природообустройства, 2000. – 145 с.
2. Карлиханов, Т.К. Арал: прошлое, настоящее, будущее [Текст]: монография / Т.К. Карлиханов, С.Р. Ибатуллин, О.К. Карлыханов, Г. Далдабаева. – Астана: Фолиант, 2016. – 313 с.
3. Карлыханов, О.К. Значение Коксарайского контррегулятора на реке Сырдарья при зимних энергопусках [Текст] / О.К. Карлыханов, А.Б. Толеш, Т.Ч. Тажиева, А.М. Бескемпирова, Н.Л. Ибраймов // Наука и мир. – 2024. – № 9 (133). – С. 15-18.
4. Коксарайский контррегулятор – достижение Независимости и гарантия безопасности южного региона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.inform.kz/ru/koksarayskiy-kontregulyator-dostizhenie-nezavisimosti-i-garantiya-bezopasnosti-yuzhnogo-regiona\\_a2430103](https://www.inform.kz/ru/koksarayskiy-kontregulyator-dostizhenie-nezavisimosti-i-garantiya-bezopasnosti-yuzhnogo-regiona_a2430103).
5. Касымканова, Х.М. Анализ методов оценки устойчивости прибортовых массивов карьеров [Текст] / Х.М. Касымканова // Вестник КГУСТА. – 2013. – № 1. – С. 37-42.
6. Жабко, А.В. Теория расчета устойчивости откосов и оснований. Анализ, характеристика и классификация существующих методов расчета устойчивости откосов [Текст] / А.В. Жабко // Известия Уральского государственного горного университета. – 2016. – № 2. – С. 42-46.
7. GeoSoft. Разработка и продажа программ для геотехнических расчетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geo-soft.ru/>.
8. GEO. Программы для геотехнических расчетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.finesoftware.ru>.
9. GEO-SLOPE. Software tools for geotechnical solutions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geo-slope.com/>.
10. PLAXIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.plaxis.ru/>.
11. ROCSCIENCE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rocscience.com/>.
12. GenIDE32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.femsoft.ru/>.

*Исследования выполнены в рамках проекта BR24992867 «Разработка ресурсосберегающих технологии для развития и управления водным хозяйством и перерабатывающей промышленностью Казахстана, создание инновационного инжинирингового центра», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 16.07.25, принят 24.09.25.*

А.Б. Толеш<sup>1</sup>, А.Д. Мамитова<sup>1</sup>, Т.Ч. Тажиева<sup>2</sup>,  
О.К. Карлыханов<sup>3</sup>, Н.Н. Бакбергенов<sup>3</sup>, Ш.К. Шапалов<sup>1</sup>, Ф.Х. Аубакирова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан

<sup>2</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Қазақ су шаруашылығы Ғылыми-Зерттеу институты, Тараз қ., Қазақстан

### КӨКСАРАЙ ҚАРСЫ РЕТТЕГІШІНІҢ ТОПЫРАҚТЫ БӨГЕТІНІҢ БЕРІКТІГІ ЖӘНЕ СЕНІМДІЛІГІ СҰРАҒЫНА

**Аңдатпа.** Көксарай қарсы реттегішінің топырақ бөгетінің орнықтылығы мен сенімділігі мәселесі оңтүстік өңір үшін осы құрылысты пайдалану қауіпсіздігін қамтамасыз етуде негізгі мәселе болып табылады. Бөгет су ағындарын реттеуде, су деңгейін бақылауда және өңірде су басудың алдын алуда маңызды рөл атқарады. Оның орнықтылығын бағалау үшін аумақтың геологиялық және гидрологиялық ерекшеліктерін, топырақтың сипаттамаларын, сондай-ақ су массасынан динамикалық жүктеме және ықтимал табиғи апаттар сияқты сыртқы факторлардың әсерін ескеру қажет. Мақалада Көксарай қарсы реттегішінің топырақ бөгетінің орнықтылығы мен сенімділігінің негізгі аспектілері қаралды, атап айтқанда, құрылысты пайдалануға әсер ететін геологиялық және гидрологиялық жағдайлар, сондай-ақ топырақ бөгетінің орнықтылығы мен сенімділігін бағалау әдістері талданады.

**Тірек сөздер:** Сырдария өзені, Шардара су қоймасы, Көксарай контррегуляторы, бөгет беріктігі, есептеу әдістемесі.

А. Tolesh<sup>1</sup>, A.D. Mamitova<sup>1</sup>, T.Ch. Tazhieva<sup>2</sup>,  
O.K. Karlykhanov<sup>3</sup>, N.N. Bakbergenov<sup>3</sup>, Sh.K. Shapalov<sup>1</sup>, F.Kh. Aubakirova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

<sup>2</sup>M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

<sup>3</sup>Kazakh Research Institute of Water Management, Taraz, Kazakhstan

### ON THE STABILITY AND RELIABILITY OF THE KOKSARAISKY COUNTERREGULATOR'S GROUND DAM

**Abstract.** The issue of stability and reliability of the Koksarai counter-regulator soil dam is key to ensuring the safety of this structure for the southern region. The dam plays an important role in regulating water flows, controlling water levels and preventing flooding in the region. To assess its stability, it is necessary to take into account the geological and hydrological features of the site, soil characteristics, as well as the effects of external factors, such as dynamic load from water masses and possible natural disasters. The article discusses the main aspects of the stability and reliability of the Koksarai counter-regulator soil dam, in particular, the geological and hydrological conditions affecting the operation of the structure are analyzed, as well as methods for assessing the stability and reliability of the soil dam.

**Keywords:** Syrdarya river, Shardara reservoir, Koksarai counterregulator, dam stability, calculation method.

---

### References

1. Golovanov, A.I., Zimin, F.M. Prirodoobustroystvo [Land Management]. – Moscow: State University of Land Management, 2000. – 145 p. [in Russian].
2. Karlykhanov, T.K., Ibatullin, S.R., Karlykhanov, O.K., Daldabaeva, G. Aral: proshloe, nastoyashchee, budushchee [Past, Present, Future]: monograph. – Astana: Foliant, 2016. – 313 p. [in Russian].
3. Karlykhanov, O.K., Tolesh, A.B., Tazhiyeva, T.Ch., Beskempirova, A.M., Ibraimov, N.L. Znachenie Koksarayskogo kontrregulyatora na reke Syrdar'ya pri zimnikh energopopuskakh [The significance of the Koksarai counter-regulator on the Syrdarya River during winter energy releases] // Science and World. – 2024. – No. 9 (133). – P. 15-18. [in Russian].
4. Koksarai counter-regulator – an achievement of Independence and a guarantee of security for the southern region [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.inform.kz/ru/koksarayskiy-kontrregulyator-dostizhenie-nezavisimosti-i-garantiya-bezopasnosti-yuzhnogo-regiona\\_a2430103](https://www.inform.kz/ru/koksarayskiy-kontrregulyator-dostizhenie-nezavisimosti-i-garantiya-bezopasnosti-yuzhnogo-regiona_a2430103). [in Russian].
5. Kasymkanova, Kh.M. Analiz metodov otsenki ustoychivosti pribortovykh massivov kar'erov [Analysis of methods for assessing the stability of pit wall masses] // Bulletin of KSUCTA. – 2013. – No. 1. – P. 37-42. [in Russian].
6. Zhabko, A.V. Teoriya rascheta ustoychivosti otkosov i osnovaniy. Analiz, kharakteristika i klassifikatsiya sushchestvuyushchikh metodov rascheta ustoychivosti otkosov [Theory of slope and foundation stability calculation. Analysis, description and classification of existing slope stability calculation methods] // News of the Ural State Mining University. – 2016. – No. 2. – P. 42-46. [in Russian].
7. GeoSoft. Development and sale of software for geotechnical calculations [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.geo-soft.ru/>. [in Russian].
8. GEO. Programs for geotechnical calculations [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.finesoftware.ru/>. [in Russian].
9. GEO-SLOPE. Software tools for geotechnical solutions [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.geo-slope.com/>. [in Russian].
10. PLAXIS [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.plaxis.ru/>
11. ROCSCIENCE [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.rocscience.com/>. [in Russian].
12. GenIDE32 [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.femsoft.ru/>. [in Russian].

IRSTI 67.09.33

G.M. Dabi<sup>1</sup> – main author, | ©  
M.I. Rynkovskaya<sup>2</sup>, S.D. Sefissa<sup>3</sup>, Y.M. Girma<sup>4</sup>



<sup>1,4</sup>PhD Candidate and Teaching Assistant, <sup>2</sup>Associate Professor, <sup>3</sup>Lecturer

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-9669-6177> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-2206-2563>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0004-0436-6947> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-6327-0292>



<sup>1,2,4</sup>Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

<sup>1</sup>Arba Minch University, Arba Minch, Ethiopia

<sup>3</sup>Jimma University, Jimma, Ethiopia

<sup>4</sup>Addis Ababa Science and Technology University, Addis Ababa, Ethiopia

@

<sup>1</sup>[gizex09@gmail.com](mailto:gizex09@gmail.com)

<https://doi.org/10.55956/SBFC6954>

## STOCHASTIC OPTIMIZATION OF EXPANDED POLYSTYRENE SIZE AND PROPORTION IN CONCRETE USING MACHINE LEARNING

**Abstract.** This paper presents a study on the prediction of the impact of incorporating EPS into concrete using ML algorithms. A dataset of 125 samples from reputable international journals was analyzed using Python tools. The primary objective of this study is to develop a reliable algorithm to optimize the size and proportions of EPS beads in concrete mixes without compromising 28-day compressive strength. Gradient Boosting Regression, Random Forest Regression, and XGBoost models were applied and evaluated using MAE, MSE, RMSE, and R<sup>2</sup> score to select the best predictive model. Based on this newly developed algorithm, an experimental test was conducted, and the results closely matched the predicted values with only slight differences. The study recommends further experimental investigations to understand the interaction between EPS beads and other concrete ingredients. It also emphasizes the importance of multidisciplinary approaches and mitigation strategies for better integration of EPS in concrete design.

**Keywords:** concrete, compressive strength, machine learning, Expanded Polystyrene, Python.



*Dabi G.M., Rynkovskaya M.I., Sefissa S.D., Girma Y.M. Stochastic optimization of expanded polystyrene size and proportion in concrete using machine learning //Mechanics and Technology / Scientific journal. – 2025. – No.3(89). – P.274-283.*  
<https://doi.org/10.55956/SBFC6954>

**Introduction.** The adoption of innovative concrete systems, such as Expanded Polystyrene (EPS), has significantly influenced the field of structural engineering. As concrete is heavy in nature and its production isn't environmentally friendly, the attention of the concrete technology is becoming toward the material consumption reduction, improve structural efficiency, and achieve sustainability goals. Expanded polystyrene is one of the promising materials that has gained an increasing attention from the construction industry as a lightweight aggregate in concrete due to its potential to improve thermal insulation, reduced dead weight, and offer a sustainable alternative to conventional aggregates. Studies show that the

introduction of EPS in concrete mixtures leads to significant reductions in the overall weight of the concrete [1-3].

Nevertheless, incorporating EPS into concrete poses challenges to the mechanical properties, primarily influenced by the size and proportion of EPS beads. To alleviate these challenges, different studies examined the effects of varying EPS proportions and sizes on the mechanical properties of concrete, focusing on optimizing for different structural applications. It was found in [4,5] that by examining the impact of cement and EPS bead ratios on compressive strength and density of lightweight concrete that increasing the cement to EPS ratio enhanced both density and compressive strength. To evaluate the influence of incorporating EPS beads into concrete on two primary concrete properties: density and compressive strength, an experimental study conducted by introducing different proportions of EPS beads into the concrete mix as a partial replacement for conventional aggregate [6]. The results showcased incorporating EPS beads reduces concrete density, making it lighter and with increasing EPS content the compressive strength which limits the structural applications of such mixes. It was indicated in [7], exploring the physical and mechanical properties of voided concrete containing EPS beads, that compressive strength and EPS volumes are negatively correlated. The study highlights a key finding that supports the discussion in [6] a negative correlation exists between compressive strength and the volume of EPS beads in concrete. The reduced load transfer efficiency between the matrix and EPS particles is a key factor, as stated by [8-10]. Despite this drawback, the ductility of the concrete can be improved due to the energy-absorbing characteristics of EPS. Hybrid mixtures combining EPS with other lightweight aggregates or fibers have been explored to balance strength and ductility [11-14]. Research in [15,16] investigates the mechanical properties of hybrid fiber-reinforced expanded polystyrene lightweight aggregate concrete. It focuses on understanding how different types of fibers, when combined with EPS aggregates, influence the concrete's strength, ductility, and overall performance. The inclusion of EPS is consistently associated with a reduction in compressive strength. Researchers have demonstrated that as the percentage of EPS replacement increases, the compressive strength decreases. This is attributed to the lower stiffness and weaker bonding capacity of EPS particles compared to traditional aggregates [12,17-19]. However, studies indicate that optimizing the mix design, such as using EPS beads with surface treatments or incorporating supplementary cementitious materials, can mitigate strength losses [20,21]. A study [22] focuses on the uniaxial compressive stress-strain behavior of expanded polystyrene concrete, which is widely used as a lightweight concrete in construction. The research presents experimental data on the stress-strain relationship of EPS concrete, analyzing how the inclusion of EPS beads influences its compressive strength and deformation characteristics. The findings reveal that EPS concrete exhibits a distinctive stress-strain curve compared to conventional concrete.

Despite the significant advancements in experimental and numerical methodologies, several gaps persist in the existing body of knowledge. The correlation between EPS beads and surrounding ingredients in concrete remains underexplored. Studies addressing the long-term performance and fatigue behavior of EPS concrete under various loading conditions are limited [23]. There is a lack of standardized guidelines for the design, testing, and implementation of EPS concrete structures even in ACI 544.1R-96 and ASCE/SEI 41. These all gaps necessitate multidisciplinary approaches, integrating advanced materials science, computational

modelling, and environmental engineering to fully realize the benefits of the EPS concrete technology.

This study integrates advancements in machine learning (ML) models such as Gradient Boosting Regression, Random Forest and XGBoost algorithms with the theoretical concepts and practical applications to address complex challenges and develop innovative solutions for sustainable and efficient construction practices. Based on the outcomes of these algorithms, experimental tests are conducted on relevant samples. The primary aim of this study is to stochastically develop the scatter plots that depicts the interaction of EPS beads with the nature of the surrounding materials and their collective impact on the compressive strength of concrete. Optimizing EPS size and proportions without compromising the compressive strength of the concrete is a key emphasize in this study. The validation of this approach is proved by experimental tests. At the end, this study concludes with a proposal of a simple mix design approach for EPS concrete that involves the determination of three key parameters to avoid extensive trial mixes:

- a. The correlation of the EPS beads with the overall compressive strength of EPS concrete;
- b. Fixing the target compressive strength to be achieved;
- c. Estimating the potential compressive strength of the EPS concrete based on the selected materials and mix proportions based on the developed algorithm.

**Materials and methods.** Emphasizing on the wide range of the size and proportion of EPS beads, a dataset of 125 samples from different experimental research that were published in different international journals was collected to ensure the wider dataset range of the EPS Concrete Mixture matrixes. This dataset considers variety of proportions of cement, silica fume, aggregates, EPS beads, water, and admixtures. This collection of datasets was undertaken by carefully selecting all input variables so that it represents the wide range of EPS concrete compressive strength. Finally, experimental tests were conducted on relevant samples using a MATEST Compressive Strength Testing Machine (Fig. 1), in accordance with the developed algorithms.

The procedure adopted in this study involves the following steps:

1. **Dataset Collection:** A diverse collection of datasets pertaining to EPS concrete mixture matrices was carefully gathered from experimental tests conducted by various researchers by considering the compressive strength, the average size of EPS beads and the proportion of EPS incorporated into the mixtures. The dataset contains 125 samples in which 9 independent variables and 1 output variable. One cubic meter of concrete is considered for the input dataset and the variables: cement, silica fume, water, superplasticizer, coarse aggregates, EPS beads, and fine aggregates. In this study, 28-day compressive strength, is considered as the dependent variable.

2. **Statistical Dataset Analysis:** The dataset is analyzed statistically by using Python programming tools, the assessment of the impact of each variable by using scatter plots and identifying the impacts of input variables in predicting the target variable (compressive strength).

3. **Model Development:** Creating Models by using different regression algorithms.

4. **Iteration:** Steps 2 and 3 are repeated until the obtained results show the most feasible outcomes.

5. **Variable Impact Assessment:** The effect of each variable is further analyzed using different diagrams and outputs from the ML models, particularly the  $R^2$  score.

6. Experimental Validation: Experimental tests on relevant samples are conducted in accordance with the developed algorithm.



Fig. 1. MATEST Compressive Strength Testing Machine

**Research results and discussion.** The statistical summary (Table 1) obtained using Python programming tools, reveals that unlike conventional concrete – where, for example, higher cement content generally leads to increased compressive strength upto some levels – EPS concrete behaves differently. In EPS-modified concrete, each ingredient significantly affects the final properties, indicating the need for a specialized mix design algorithm that can achieve the desired strength without compromise.

Table 1

Statistical Summary

Variable Type	Ingredients	Count	Mean	Std	Min	25%	50%	75%	Max
Inputs	Cement, kg/m <sup>3</sup>	125	431.169	85.9748	301	375	425	496	744
	Silica Fume, kg/m <sup>3</sup>	125	22.0424	36.2721	0	0	0	40	127.23
	Water, kg/m <sup>3</sup>	125	191.248	70.4769	104	152.67	175	180	390
	w/c	125	0.4396	0.11919	0.24	0.3	0.45	0.56	0.63
	Superplasticizer, kg/m <sup>3</sup>	125	3.17788	2.92204	0	0	3.15	4.2	9.6
	Coarse Aggregate, kg/m <sup>3</sup>	125	538.821	406.299	0	201	591	890	1224
	EPS, kg/m <sup>3</sup>	125	119.738	187.713	0	6.06	13.9	189	905
	Average EPS Size, mm	125	2.0896	1.50198	0	0.8	2.25	2.6	5
	Fine Aggregate, kg/m <sup>3</sup>	125	376.173	263.248	0	118	467	593	812
Output	28-Day Compressive Strength, MPa	125	21.786	16.8992	1.45	5.89	20.6	34.04	68.3

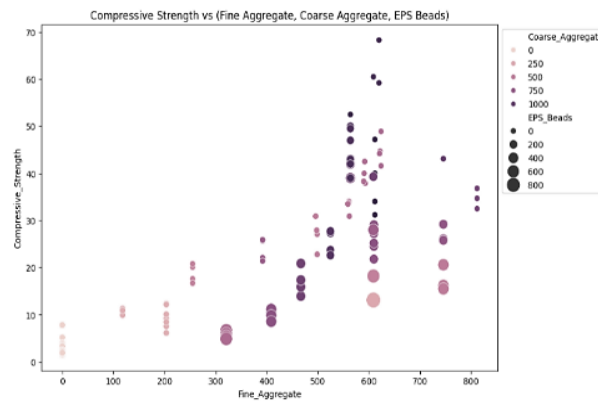


Fig. 2. Scatter Plots of EPS Content vs Compressive Strength

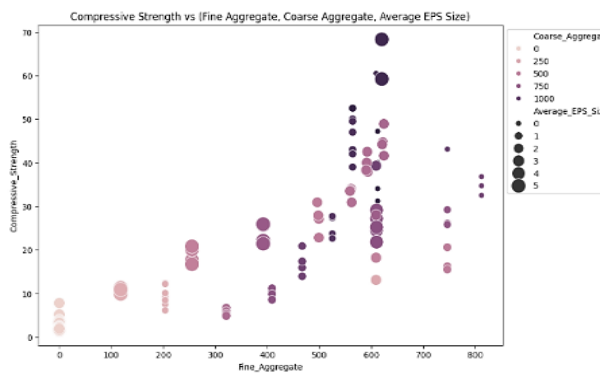


Fig. 3. Scatter Plots of EPS Size vs Compressive Strength

The scatter plots in Figure 2 and Figure 3 show that the relationship between the compressive strength and fine aggregate content, with color intensity and bubble sizes indicating the effects of coarse aggregate and EPS bead. It reveals that higher coarse aggregate correlates with increased compressive strength with moderate fine aggregate content. Moreover, it shows that the size and content of EPS beads significantly impact the compressive strength, with an optimal EPS volume and size of around 10% and 3-4mm is required to achieve a compressive strength of around 33 MPa. Based on this optimal EPS proportion and size, the corresponding mix ratio is determined to be 1:1.81:2.57. Beyond this range, further increases in EPS content or size lead to a decline in compressive strength.

To handle complex relationships in the dataset with high accuracy, three predictive ML Models: Gradient Boosting, Random Forest and XGBoost are used. This part of the study evaluates the predictive performance of these models by comparing their predictions. Scatter plot, representing the correlation between actual and predicted values, is obtained for each model by using Python programming tools. Primarily, the analysis is to assess the accuracy, reliability, and practical applicability of these models in real-world scenarios. By comparing their prediction performances, this study aims to highlight strengths and limitations, thereby guiding model selection for experimental setups.

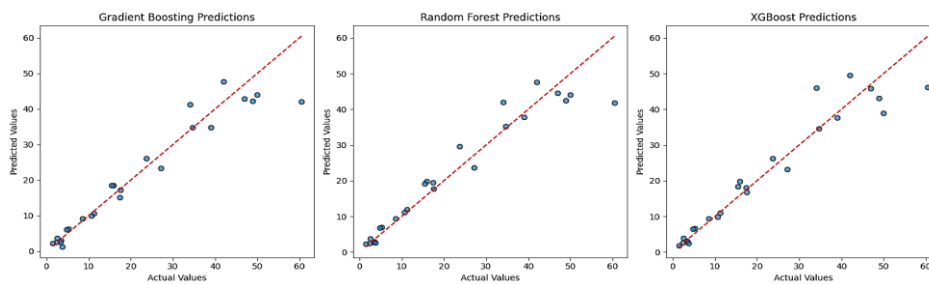


Fig. 4. Scatter plots of ML Models

As shown in Figure 4, all three models show good performance in which most points cluster around the red dashed lines. The predicted values that are obtained for all the three predictions used align closely with the actual values with slight deviation for some data points that are with higher actual values. Nevertheless, the performance of XGBoost regression has slightly more variance in predictions whereas gradient boosting and random forest regressions have relatively a strong predictive ability for this dataset. Generally, compared to XGBoost, Gradient Boosting and Random Forest seem slightly better aligned around the red lines. To accurately quantify the performance differences, further metrics such as  $R^2$  Score, Mean Squared Error (MSE), and Mean Absolute Error (MAE) are needed. The value of each metric has been extracted by using the Python programming libraries and tabulated as follows in Table 2.

Table 2

Metrics to Quantify the Performance Differences

Model	MAE	MSE	RMSE	$R^2$ Score
Gradient Boosting	3.0737	23.7261	4.8709	0.9254
Random Forest	3.1157	24.793	4.9793	0.9221
XGBoost	3.0788	24.8197	4.9819	0.922

As indicated in Table 2 by low Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), and Root Mean Squared Error (RMSE), as well as high  $R^2$  Scores, all the three models highlight strong performance in predictive accuracy. Nevertheless, Gradient Boosting achieving the best performance indicating superior predictive capacity for this dataset.

The experimental program, based on the developed algorithm, on the other hand examines the impact of varying EPS bead content on the compressive strength of concrete, four mix designs were prepared with each mix used constant quantities of cement ( $2828 \text{ g/m}^3$ ), fine aggregate ( $5117 \text{ g/m}^3$ ), and water ( $1330 \text{ g/m}^3$ ), while the volume of coarse aggregate was progressively reduced to accommodate EPS at 0%, 10%, 20%, and 30%. As shown in Table 3, the control mix (MIX-I), containing no EPS, achieved the highest compressive strength of 41.75 MPa. The fresh concrete mix before the addition of EPS beads is shown in Fig 5. With the inclusion of 10% EPS beads (MIX-II), the compressive strength decreased to 33.23 MPa, representing the optimal balance between weight reduction and structural performance. Further increases in EPS content (MIX-III and MIX-IV) led to significant strength reductions, confirming that 10% EPS is the most effective proportion for maintaining sufficient mechanical properties while benefiting from the lightweight characteristics of EPS-modified concrete. The process of loading the samples into the compression testing machine is shown in Figure 6, failure cracking patterns in

Figure 7, and the digital readings of the compressive strength from the machine for each cube is presented as follows in Figure 8.

Table 3

*Cubic Compressive Strength*

MIX DESIGN	Cement (g/m <sup>3</sup> )	Fine Aggregate (g/m <sup>3</sup> )	Coarse Aggregate (g/m <sup>3</sup> )	Water (g/m <sup>3</sup> )	EPS Beads (10%)	Cubic Compressive Strength fcu' (MPa)
MIX-I	2828.00	5117.00	7328.00	1330.00	-	41.75
MIX-II	2828.00	5117.00	7254.72	1330.00	10	33.23
MIX-III	2828.00	5117.00	7109.63	1330.00	20	23.20
MIX-IV	2828.00	5117.00	6967.43	1330.00	30	16.86



Fig. 5. EPS concrete mix



Fig. 6. Loading the sample



Fig. 7. Crack pattern after loading



Fig. 8. Machine Reading

**Conclusion.** The results from the scatter plots and the experimental tests reinforce the idea that both the quantity and size of EPS beads are critical factors in affecting compressive strength and they're needed to be carefully optimized both in amount and size to attain the desired compressive strengths. The intricate interactions between fine aggregate, coarse aggregate, and EPS beads' size and proportion in influencing the compressive strength which can guide the optimization of material compositions for applications with specific requirements. This avoids an intensive mix trial and propose a simple mix design approach for EPS concrete. This study, depending on the developed scatter plots, reveals that by employing different mechanisms, it's possible to achieve the desired strength. The possible optimization strategies extracted from the scatter plots include: optimize the proportion of EPS beads while maintaining the desired strength, use a target proportion and balance the compressive strength and lightweight goals experimentally, for the perfect correlation between the EPS beads and its size, reduce the beads size while maintaining the proportion may help mitigate negative effects on compressive strength, increase the contents of the fine aggregate and that of coarse aggregate to offset the slight reduction in strength due to EPS beads, use w/c ratio adjustment,

incorporation of superplasticizer or other admixtures to enhance the workability of the concrete and conduct an extensive material-based flexural and compressive strength tests to optimize the threshold for the EPS beads content so that the strength doesn't drop below the acceptable levels. This paper finally recommends the prioritization of optimizing coarse aggregate, fine aggregate, and water to cement ratio to maximize the compressive strength and to comprehensively investigate the negative effects of EPS beads on the strength, considering tradeoffs or threshold values, introducing different mitigation measures. To refine these strategies, a comprehensive empirical investigation with extended parameters must be conducted.

### References

1. Wibowo A.P., Lianasari A.E., Wiransyah Z.A.M., Kurniawan T.A. The strength and water absorption of heated expanded polystyrene beads lightweight-concrete // *International Journal of GEOMATE*. – 2021. – Vol. 21. – No. 83.
2. Herihiri O., Guettala A., Benabed B. An investigation on the physical, mechanical and thermal properties of dune sand mortars lightened by expanded polystyrene beads (EPS) // *Epitoanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials*. – 2021. – Vol. 73. – No. 1. – P. 28-36.
3. Salah Alden A.S., AL-Hadethi A.I. The Influence of Waste Plastic Fiber on the Characteristics of Light Weight Concrete with Expanded Polystyrene (EPS) as Aggregate // *Journal of Engineering*. – 2023. – Vol. 29. – No. 08. – P. 16-26.
4. Kan A., Demirboğ a R. Effect of cement and EPS beads ratios on compressive strength and density of lightweight concrete // *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*. – 2007. – Vol. 14. – No. 2.
5. Liu N., Chen B. Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete // *Construction and Building Materials*. – 2014. – Vol. 68. – P. 227-232.
6. Abdel-Jaber M., Shatarat N., El-Nimri R. Influence of Using Expanded Polystyrene Beads on the Density and Compressive Strength of Hardened Concrete // *Civil Engineering and Architecture*. – 2023. – Vol. 11. – No. 6.
7. Shabbar R., Al-Tameemi A.A., Alhassani A.M.J. The effect of expanded polystyrene beads (EPS) on the physical and mechanical properties of aerated concrete // *Open Engineering*. – 2022. – Vol. 12. – No. 1. – P. 424-430.
8. Mohammed H.J., Aayee O.K. Flexural behavior of reinforced concrete beams containing recycled expandable polystyrene particles // *Journal of Building Engineering*. – 2020. – Vol. 32. – P. 101805.
9. Chung J.-H., Jung H.-S., Choi H.-K. Flexural Strength and Stiffness of Donut-Type Voided Slab // *Applied Sciences*. – 2022. – Vol. 12. – No. 12. – P. 5782.
10. Franchis David M., Theenathayalan R., NaganathaPrabhu L., Vincent P. Flexural behavior of sustainable self compacting concrete beam // *Journal of Green Engineering*. – 2019. – Vol. 9. – No. 2.
11. Larrard F. de. *Concrete mixture proportioning: a scientific approach*. – CRC Press, 2014.
12. Moutassem F. Ultra-Lightweight EPS Concrete: Mixing Procedure and Predictive Models for Compressive Strength // *Civil Engineering and Architecture*. – 2020. – Vol. 8. – No. 5. – P. 963-972.
13. Perry S.H., Bischoff P.H., Yamura K. Mix details and material behaviour of polystyrene aggregate concrete // *Magazine of Concrete Research*. – 1991. – Vol. 43. – No. 154. – P. 71-76.
14. Bogas J.A., Gomes A. A simple mix design method for structural lightweight aggregate concrete // *Materials and Structures*. – 2013. – Vol. 46. – No. 11. – P. 1919-1932.
15. Wei H., Xin-Wei M., Yu-Jiao S., Shanshan R. Study on the mechanical properties and damage constitutive model of hybrid fibre-reinforced EPS lightweight aggregate concrete // *Tehnicki Vjesnik*. – 2020. – Vol. 27. – No. 6.

16. Wei J., et al. Mechanical properties of basalt fiber reinforced ambient-cured lightweight expanded polystyrene geopolymer concrete // *Journal of Building Engineering*. – 2023. – Vol. 80.
17. Miled K., Sab K., Le Roy R. Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modelling // *Mechanics of Materials*. – 2007. – Vol. 39. – No. 3. – P. 222-240.
18. Ji Y., et al. A new EPS beads strengthening technology and its influences on axial compressive properties of concrete // *Science and Engineering of Composite Materials*. – 2022. – Vol. 29. – No. 1. – P. 50-64.
19. Sayadi A.A., Tapia J.V., Neitzert T.R., Clifton G.C. Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Vol. 112. – P. 716-724.
20. Sun Y., Wu T., Liu X. Serviceability performance of fiber-reinforced lightweight aggregate concrete beams with CFRP bars // *Advances in Structural Engineering*. – 2022. – Vol. 25. – No. 1.
21. Abishek V., Iyappan G.R. Study on Flexural Behavior of Bubble Deck Slab Strengthened with FRP // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 2040. – No. 1. – P. 012018.
22. Liu H., et al. Experimental Scrutiny of Uniaxial Compressive Stress–Strain Relationship for Expanded Polystyrene Concrete // *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. – 2023. – Vol. 47. – No. 5. – P. 2931-2948.
23. Arslan M.H., Özkılıç Y.O., Arslan H.D., Şahin Ö.S. Experimental and Numerical Investigation of the Structural, Thermal and Acoustic Performance of Reinforced Concrete Slabs with Balls for a Cleaner Environment // *International Journal of Civil Engineering*. – 2023. – Vol. 21. – No. 5. – P. 789-804.

Received: 05 August 2025

Accepted: 15 September 2025

**Г.М. Даби<sup>1,2</sup>, М.И. Рынковская<sup>1</sup>, С.Д. Сефисса<sup>3</sup>, Й.М. Гирма<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup>Ресей халықтар достығы университеті (РУДН), Мәскеу қ., Ресей

<sup>2</sup>Арба Минч университеті, Арба Минч қ., Эфиопия

<sup>3</sup>Джимма университеті, Джимма қ., Эфиопия

<sup>4</sup>Аддис-Абеба ғылым және технология университеті, Аддис-Абеба қ., Эфиопия

#### **КЕҢЕЙТІЛГЕН ПОЛИСТИРОЛДЫҢ БЕТОНДАҒЫ МӨЛШЕРІ МЕН КӨЛЕМІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ СТОХАСТИКАЛЫҚ ОҢТАЙЛАНДЫРУ**

**Аңдатпа.** Бұл мақалада бетон құрамына кеңейтілген полистиролды (EPS) енгізудің әсерін болжау бойынша машиналық оқыту алгоритмдерін пайдалану арқылы жүргізілген зерттеу ұсынылған. Халықаралық беделді журналдардан алынған 125 үлгіден тұратын деректер жиынтығы Python құралдарының көмегімен талданды. Зерттеудің негізгі мақсаты – бетон қоспаларындағы EPS түйіршіктерінің көлемі мен мөлшерін 28 тәуліктік сығылу беріктігін төмендетпей оңтайландыруға арналған сенімді алгоритмді әзірлеу. Gradient Boosting Regression, Random Forest Regression және XGBoost модельдері қолданылып, MAE, MSE, RMSE және R<sup>2</sup> көрсеткіштері бойынша бағаланды, соның негізінде ең үздік болжамдық модель таңдалды. Жаңадан жасалған алгоритмге сүйене отырып, тәжірибелік сынақ жүргізілді және алынған нәтижелер болжанған мәндермен жоғары сәйкестік көрсетті, тек аздаған айырмашылықтар байқалды. Зерттеу EPS түйіршіктері мен бетонның басқа компоненттерінің өзара әрекеттесуін тереңірек түсіну үшін қосымша тәжірибелік зерттеулер жүргізуді ұсынады. Сондай-ақ, бетон құрамын жобалауда EPS-ті тиімді біріктіру үшін пәнаралық тәсілдердің және тәуекелді азайту стратегияларының маңыздылығы атап өтіледі.

**Тірек сөздер:** бетон, сығылу беріктігі, машиналық оқыту, кеңейтілген полистирол (EPS), Python.

**Г.М. Даби<sup>1,2</sup>, М.И. Рынковская<sup>1</sup>, С.Д. Сефисса<sup>3</sup>, Й.М. Гирма<sup>1,4</sup>**

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов (РУДН), г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Арбаминчский университет, г. Арбаминч, Эфиопия

<sup>3</sup>Университет Джимма, г. Джимма, Эфиопия

<sup>4</sup>Аддис-Абебский университет науки и технологий, г. Аддис-Абеба, Эфиопия


#### **СТОХАСТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРА И ПРОПОРЦИИ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА В БЕТОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

**Аннотация.** В статье представлено исследование прогнозирования влияния включения EPS в бетон с использованием алгоритмов МО. Набор данных из 125 образцов из авторитетных международных журналов был проанализирован с помощью инструментов Python. Основной целью данного исследования является разработка надежного алгоритма для оптимизации размера и пропорций гранул EPS в бетонных смесях без ущерба для прочности на сжатие через 28 дней. Модели Gradient Boosting Regression, Random Forest Regression и XGBoost были применены и оценены с использованием MAE, MSE, RMSE и R<sup>2</sup> оценки для выбора наилучшей прогностической модели. На основе этого недавно разработанного алгоритма был проведен экспериментальный тест, и результаты близко соответствовали прогнозируемым значениям с небольшим различием. В исследовании рекомендуются дальнейшие экспериментальные исследования для понимания взаимодействия между гранулами EPS и другими ингредиентами бетона. Также подчеркивается важность междисциплинарных подходов и стратегий смягчения для лучшей интеграции EPS в проектирование бетона.


**Ключевые слова:** бетон, прочность на сжатие, машинное обучение, пенополистирол, Python.

FTAMP 67.09.33

М.Қ. Сағынтай<sup>1</sup> – негізгі автор, ©  
А.А. Адиева<sup>2</sup>, И.Б. Ташмуханбетова<sup>3</sup>, Д.А. Уксикбаева<sup>4</sup>,  
Л.Б. Макулбай<sup>5</sup>, А.Қ. Мустафа<sup>6</sup>, Е.З. Нұғман<sup>7</sup>

 <sup>1,6</sup>PhD, <sup>2,5</sup>Техн. ғылым, магистрі, ассистент-профессор,  
<sup>3,7</sup>PhD, қауымдас. профессор, <sup>4</sup>Техн. ғылым, магистрі, оқытушы

ORCID <sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7946-1568> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-8513-8767>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-4066-8238> <sup>4</sup><https://orcid.org/0009-0006-3189-933X>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0001-8923-9207> <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0002-4751-7141>  
<sup>7</sup><https://orcid.org/0000-0003-4537-9440>

 <sup>1,6,7</sup>Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу  
университеті, Алматы қ., Қазақстан  
<sup>1,6,7</sup>«RnD Center» ЖШС  
<sup>2,3,4,5</sup>Халықаралық білім беру корпорациясы, Қазақ бас сәулет-құрылыс  
Академиясы, Алматы қ., Қазақстан


@ <sup>3</sup>[indiraberkinbaykyzy@gmail.com](mailto:indiraberkinbaykyzy@gmail.com)

<https://doi.org/10.55956/GANA2528>

### 3D БАСПАЛЫҚ БЕТОНДЫ АРМАТУРАЛАУ ӘДІСТЕРІНЕ ШОЛУ

**Аңдатпа.** Құрылыстағы аддитивті технологияның қазіргі кездегі өзекті мәселелерінің бірі – 3D баспаланған бетонды арматуралау болып тұр. Бұл мақалада 3D баспаланған бетонды арматуралау үрдісін автоматтандыруға ерекше назар аударып, арматуралау әдістеріне жан-жақты шолу жасалған. Арматураның әртүрлі түрлерінің функционалдығы қысқаша қарастырылғанымен, оның технологиялық аспектілеріне назар аударылады. Бұл шолу мақаласында негізгі фокус автоматтандыру тұрғысынан қарастырылғандықтан, автоматтандырылуы мүмкін емес кейбір әдістер қарастырылмады. Шолу мақаласында әр әдіс қарастырылған соң оның автоматтандыру мүмкіндігі бағаланып, және оның қасиеттері дәстүрлі темірбетонмен салыстырылды.

**Тірек сөздер:** аддитивті технология, 3D баспаланған бетон, стандартты болат арматура, 3D баспаланған бетонды арматуралау, арматуралауды автоматтандыру.

 Сағынтай, М.Қ. 3D баспалық бетонды арматуралау әдістеріне шолу [Мәтін] / М.Қ. Сағынтай, А.А. Адиева, И.Б. Ташмуханбетова, Д.А. Уксикбаева, Л.Б. Макулбай, А.Қ. Мустафа, Е.З. Нұғман //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.284-294. <https://doi.org/10.55956/GANA2528>

**Кіріспе.** Аддитивті технология халық шаруашылығының негізгі салаларының барлығына дерлік қарқынды еніп келе жатыр, сондай салалардың бірі құрылыс саласы. Құрылыстағы аддитивті технология бірнеше бағытта дамып келе жатыр. Олар: құм-қиыршық тасты желіммен байланыстырып қабаттап ғимарат салу [1], қайта өңделген пластик қалдықтарынан үй салу [2-3], металдан құрылыс объектілерін салу [4-6], лай-балшықтан үй салу [7-10], ағаш қалдықтары мен жаңқалардан үй салу [11-13] және цемент пен басқа да байланыстырушы зат негізіндегі бетоннан қабаттап

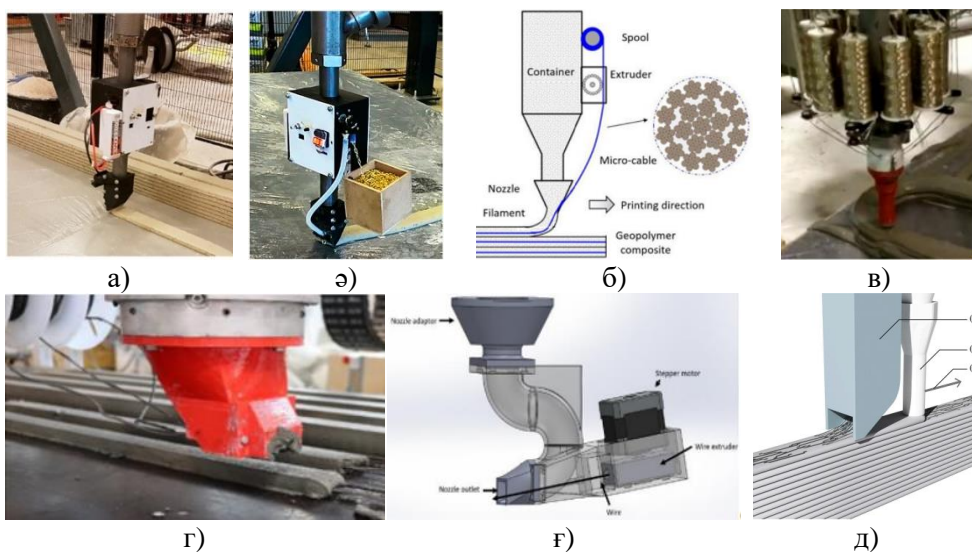
құрылыс объектілерін салу. Бұлардың ішіндегі ең негізгісі және кең зерттеліп те таралып та жатқаны бетоннан қабаттап (бетонды 3d баспалау) құрылыс объектілерін салу. Себебі, қазіргі құрылыс саласында негізгі құрылыс материалы ретінде бетон қолданылады. Демек, дәстүрлі бетонды немесе қасиеттері соған ұқсас немесе балама болатын бетонды аддитивті технологияға бейімдеу оның құрылыс саласына енуін тездетеді.

Бетонды 3d баспалау бойынша көптеген жалпылау шолу мақалалары [14-17] жазылды. Сонымен қатар, бетонның реологиясына [18-20], механикалық қасиеттері мен қабатарлық байланыс және сынақтан өткізуіне [21-25], экономикалық және экологиялығына [26-27] қатысты әртүрлі шолу мақалалары жазылды. 3d баспалық бетонды арматуралау бойынша да бірнеше шолу мақаласы жазылды [28-29]. Дегенмен, бұл шолу мақалалары негізінен арматуралау әдістерін классификациялауға көп көңіл бөлген де, осы салаға құнды мағлұмат болатын практикалық маңыздылығын ескермеген және 3d баспа технологиясы толық автоматтандыруды талап ететіндіктен 3d баспалық бетонды арматуралауды толық аутоматтандыру тұрғысынан қарастырылмаған. Сонымен қатар, дәстүрлі темірбетон жасау технологиясына балама бола алу мүмкіндігі бағаланбаған. Осының орнын толықтыру үшін бұл жұмыста 3d баспалық бетонды арматуралау әдістеріне шолу жасалды.

**Ғылыми зерттеулерге шолу және талдау.** Аддитивті технологияның дүниеге келуін Чарльз Халлдың 1986 жылы 3D баспа технологиясының алғашқы аппаратын патенттеуімен байланыстырады [30]. Ал, құрылыстағы аддитивті технологияның негізі Behroх Хошневистің Contour Crafting технологиясын ойлап табуымен қаланды деп есептеледі [31]. Дегенмен, құрылыс материалдарын қабаттап құйып отырып, ғимарат салу технологиясы АҚШ-та 20-ғасырдың 30-40 жылдары жүзеге асқаны белгілі [32]. Оған дәлел Е. Уршелдің 1944 жылы алған патенті [33], ол патент алумен тоқталмай өз технологиясын дәлелдеу үшін жұмыртқа тәріздес пішінді үй салған [34], сонымен қатар, оны арматуралауды да ойластырған, әрине, арматура қолмен салынды [35]. Сол заманнан бері аутоматты арматуралау мәселесі өзекті болып келеді.

**Бетонды 3D баспалаудағы дәстүрлі емес арматуралармен арматуралау әдістері.** *Сымдар мен жіптер, метал талшықтар.* Вос және авторлар [36] 3D баспалық бетонды арматуралау үрдісін автоматтандыру мақсатында метал сым мен шыншырды арматура ретінде пайдаланды (1а, ә-сурет). Метал сым мен шынжыр жақсы бетонға жақсы интеграцияланып, жасалған үлгіге біршама беріктік берді. Бірақ, суырып тарту сынағында метал сым өзін нашар көрсетті, сонымен қатар төрт нүктелі ию сынағында дәстүрлі темірбетонға жете алмады. Басқа зерттеу топтары арматура ретінде геополимер жіпті [37], бірнеше сымды [38], метал тросты [39] және метал талшықтарын [40] қолданды (1б-д-сурет).

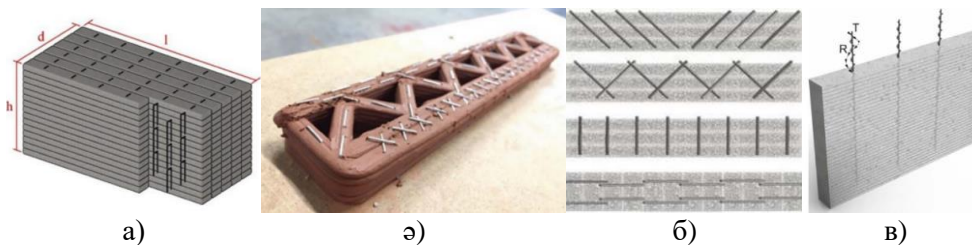
Жоғарыда келтірілген әдістер арматуралау үрдісін автоматтандырғанмен, дәстүрлі темірбетонмен салыстырғанда айтарлықтай беріктік қамтамасыз ете алмады. Сонымен қатар, төрт нүктелі және үш нүктелі ию сынақтарында жеткілікті нәтиже бере алмады. Демек, бұл әдістермен арматураланған 3D баспалық бетон дәстүрлі темірбетонға балама бола алмайды.



Сурет 1. Бетонды автоматты түрде арматуралау үшін арматура ретінде:  
а – металл сым; б – геополимер сым; в – бірнеше жіп;  
г – минералдар сіңірілген көміртекті талшықты жіп; ф – металл трос және  
д – металл талшықты пайдаланылған.

Енгізу арқылы арматуралау. Ван және авторлар 3D баспаланған бетон қабаттарына U тәріздес сым қадаларды енгізу арқылы арматуралауды ұсынды (2а-сурет) [42]. U-тәріздес сым қадаларды енгізу арқылы арматуралау тәсілін Каталонияның алдыңғы қатарлы сәулет институтының зерттеушілері қабаттар арасына тігінен енгізу арқылы арматуралауды зерттеді (2ә-сурет) [43]. Екі жағдайда да баспа бастиектің артында степлер тәрізді құрылғы 3D баспаланған бетонға U тәріздес сым қадаларды автоматты түрде енгізіп отырып арматуралайды.

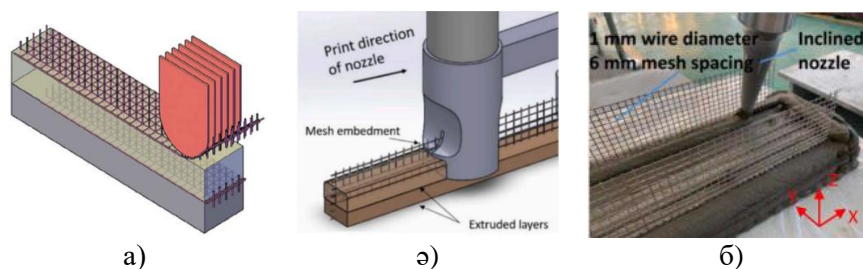
Перрот және авторлар қысқа сым қадаларды 3D баспаланған бетон қабатқа қатысты әртүрлі бұрышпен қадап арматуралауды зерттеді (2б-сурет) [44]. Эйндохвен технологиялық университетінің зерттеушілері 3D баспаланған бетон қабатқа бұранда (шруп) бұрап енгізу арқылы арматуралау әдісін ұсынды (2в-сурет) [45]. Бұл әдісте маңызды фактор 3D баспаланған бетон қабаттар төмен жағы қатып қалмауы керек, әйтпесе, не бетон қабат жарылады не шруп кірмей қалады.



Сурет 2. U тәріздес сым қада мен қысқа сым қаданы енгізіп арматуралау:  
а – Ван және авторлардың U тәріздес сым қадамен арматуралау әдісі;  
б – Каталония институтының зерттеушілерінің U тәріздес сым қадамен  
арматуралау әдісі; в – Перрот және авторлар қысқа сым қадалармен  
арматуралау әдісі; г – бұранда бұрап енгізу арқылы арматуралау әдісі

Енгізу арқылы арматуралау әдістері қабат аралық байланысты жақсартып, толық автоматтандыру мүмкін бергенімен, бұл әдістермен арматураланған 3D баспаланған бетон дәстүрлі бетондағыдай өлшемі ірілеу қиыршық тасты бетонды пайдалануға мүмкіндік бермейді және механикалық қасиеттері дәстүрлі темірбетонға жетпейді, сәйкесінше оған балама бола алмайды.

*Тормен арматуралау.* Дресден техникалық университетінің зерттеушілері қабатаралық байланысты жақсарту үшін 2,5 тор мата салып арматуралау әдісін ұсынды (3а-сурет) [46]. Бұл әдіс бойынша келесі қабатты басып шығару алдында бірден басылған қабаттарға автоматты түрде 2,5D тор мата салынып отырылады. 2,5D тор мата деп аталу себебі – матаның екі жағынан шығыңқы талшықтар бар. Marchment пен Sanjaayan металл торды тігінен салып қабатаралық байланысты жақсарту әдісін ұсынды (3ә-сурет) [47]. Тордың биіктігі қабатқа қарағанда үлкен, сәйкесінше, ағымдағы қабаттан шығып тұрған бөлігі келесі қабатпен жабылады, сөйтіп, 3D баспа біткенше жалғаса береді. Liu және авторлар металл торды U тәріздес етіп иіп, оны 3D баспаланатын қабатқа салып, оның іші-сыртынан бетон қабатын құйып арматуралау әдісін ұсынды (3б-сурет) [50].



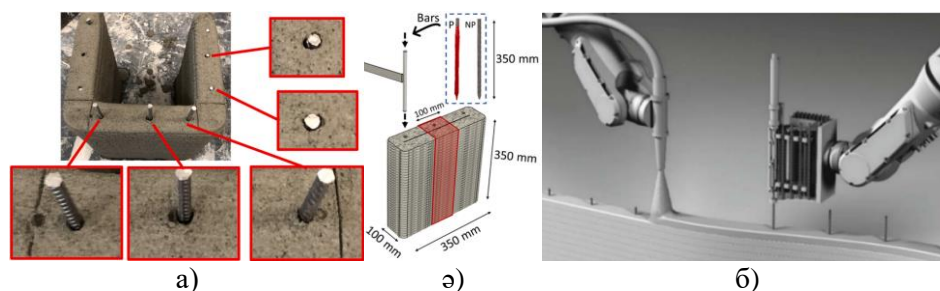
Сурет 3. Тор салып арматуралау: а – 2,5D тор мата салып арматуралау әдісі; ә – метал тор салып арматуралау әдісі; б – U тәріздес метал тормен арматуралау әдісі

Бұл әдістерде арматуралық торлар бетонға жақсы интеграцияланады. Сонымен қатар, арматуралау үрдісін толықтай автоматтандыруға болады. Дегенмен, бұл әдістер тек қабатаралық байланысты жақсарты алады және бетонға айтарлықтай беріктік бере алмайды, яғни, дәстүрлі темірбетонға балам бола алмайды.

**Бетонды 3D баспалағанда стандартты болат арматуралармен арматуралау әдістері.** Қада қағу арқылы арматуралау әдістері. Marchment пен Sanjaayan 3D баспалық бетонды стандартты болат арматуралық сырықтардан ұшы үшкір қада жасап, сол қаданы 3D баспаланған бірнеше қабат бетонға қағу арқылы арматуралауды ұсынды (4а-сурет) [48]. Дегенмен, бетон мен арматура арасында саңылау пайда болды, оны жою үшін арматуралық сырықтардан жасалған қаданы алдын-ала сұйық паста тәріздес бетонға малып алып, сосын барып 3D баспаланған бетон қабаттарға енгізуді ұсынды (4ә-сурет) [49]. Freund және авторлар торкрет бетонды қысқа стандартта болат арматуралық сырықтар қада секілді қадап отырып арматуралауды ұсынды (4б-сурет) [50].

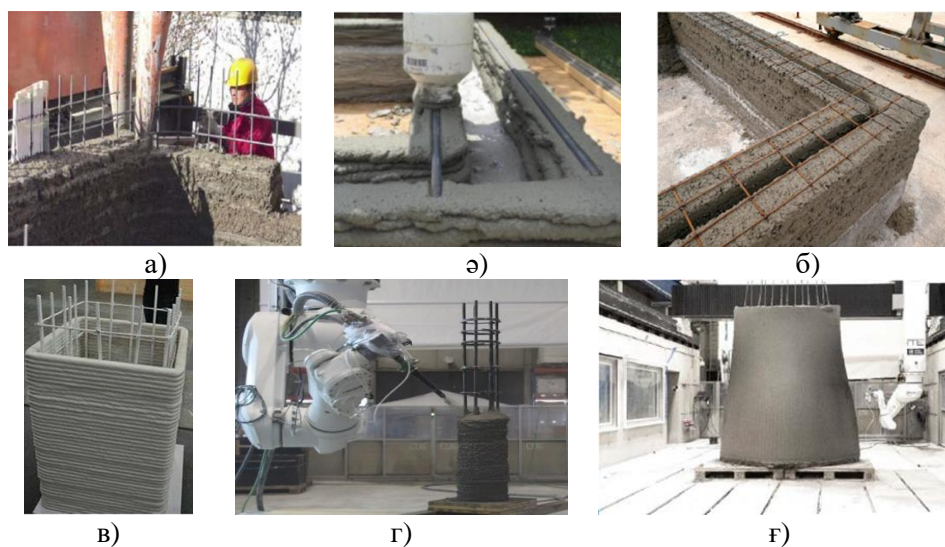
Бұл үш әдіс те толық автоматтандырылу мүмкіндігіне ие. Дегенмен, арматуралау тек бір бағытта, яғни, тік бағытта жүргізіледі. Көлденең бағытта арматуралау қарастырылмаған. Төрт нүктелі ию әдісінде айтарлықтай

беріктік бергенімен, дәстүрлі темір бетонға жетпеді, сәйкесінше, оған балама бола алмайды.



Сурет 4. 3D баспаланған бетон қабаттарға қаданы енгізу арқылы арматуралау: а – стандартты болат арматуралық сырықтардан ұшы үшкір қадамен арматуралау; ә – қаданы алдын ала сұйық паста-бетонға балып алып бетон қабаттарға енгізу арқылы арматуралау; б – торкрет бетонға қысқа қада енгізу арқылы арматуралау

Стандартты болат арматураны қолмен арматуралау. 3D баспаланған бетонды стандартты болат арматура арматуралау оның механикалық қасиеттерін дәстүрлі темірбетонның механикалық қасиеттеріне жақындайтыны зерттеу жұмыстарда [51-53] дәлелденді. Дегенмен, қазіргі уақытта 3D баспаланған бетонды стандартты болат арматурамен арматуралау қолмен жасалады, арматура 3D баспа барысына дейін (5а-сурет), 3D баспа барысында (5ә,б-сурет) [55-56] және басып шығарудан кейін (5в-сурет) салынады [57].

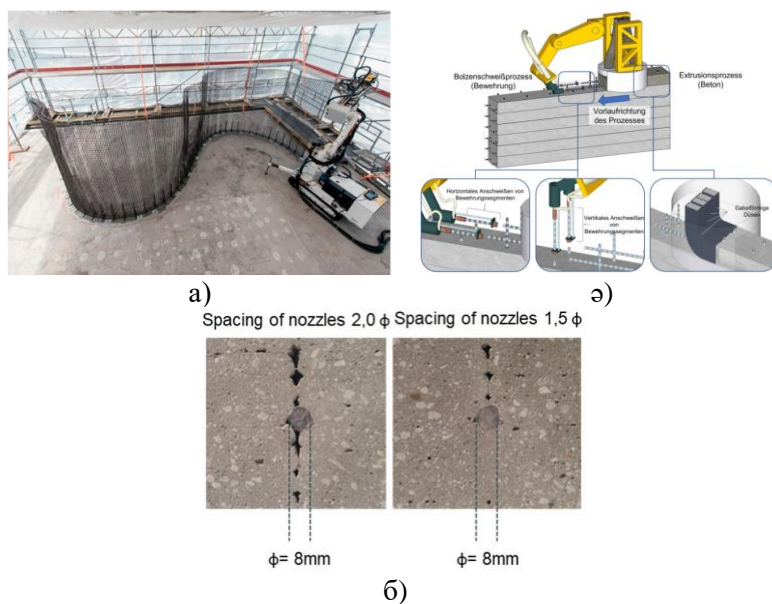


Сурет 5. Стандартты болат арматурамен 3D баспалық бетонды қолмен арматуралау: а – Қытайлық HuaShang Tengda құрылыс компаниясы ұсынған арматуралау әдісі [54]; ә – стандартты болат арматуралық сырықтарды көлденең салып арматуралау [55]; б – арматуралық торды көлденең салып арматуралау [56]; в – 3D баспадан кейін арматуралау [57]; г – торкрет бетонды алдын ала арматуралау [58]; ғ – күрделі пішінді арматуралық тор жасап арматуралау [59]

Kloft және авторлар алдын ала дайындалып орнатылған стандартты арматуралық торды торкрет бетонды қабаттап шашу арқылы колонна салды (5г-сурет) [58]. Наск және авторлар осыған ұқсас әдісті пайдаланып, күрделі пішінді архитектуралық объект салды (5г-сурет) [58]

5ә,б-суреттегі арматуралау әдісін көптеген коммерциялық компаниялар қолданады, мысалға, TotalKustom [60] және ApisCor [61] сияқты компаниялардың құрылыс тәжірибесінде әлі қолданыста. Бұл қабаттап салынатын құрылысты арматуралау деңгейі өткен ғасырдың 40-50 жылдарғы дәрежесінде [35] қалып кеткенін көрсетеді. Яғни 3D баспалық бетонды арматуралау үрдісін автоматтандыру өте өзекті мәселе болып тұр.

Стандартты болат арматурамен 3D баспалық бетонды арматуралауды автоматтандыру әдістері. Цюрих техникалық университетінің зерттеу тобы стандартты болат арматурадан автоматты режимде арматуралық торды құру мәселесін шеше алды (6а-сурет) [62]. Дегенмен, бетон қолмен құйылды. Ахен техникалық университетінің зерттеу тобы 3D баспа барысында стандартты болат арматурамен 3D баспаланған бетонды автоматты түрде арматуралау тұжырымдамаларын ұсынды (6б-сурет) [63]. Тұжырымдамаға сәйкес, қысқа арматуралық жолақтар тігінен және көлденеңінен орналастырылады, оларды ұзарту үшін доғалық дәнекерлеу қолданылады. Дегенмен, бұл тұжырымдаманың кемшіліктері де бар: біріншіден, тік және көлденең арматура бір-бірімен байланысты емес; екіншіден, арматураны бетонға біріктіру мәселесі әлі шешілген жоқ (6б-сурет); үшіншіден, тұжырымдаманы дәлелдеу үшін арматураны күшейтеу және дәнекерлеу тұжырымдамада көрсетілгендей автоматты түрде емес, қолмен жасалды.



Сурет 6. 3D баспалық бетонды арматуралауды автоматтандыру әдістері:  
а – Mesh Mould автоматты арматуралау әдісі; ә – Ахен техникалық университетінің зерттеушілері ұсынған автоматты арматуралау әдісі;  
б – арматуралық тордың бетонға нашар интеграциялануы

Mesh Mould әдісі бастапқыдан 3D баспаға арналмаған еді. Сонда да 3D баспаланған бетонды арматуралаумен айналысатын зерттеушілер бұл әдісті 3D баспаланған бетонды арматуралауға бейімдеуге болады деп сенеді [29]. Егер бұл әдісті 3D баспаланған бетонды арматуралауға бейімдей алса, онда оның қасиеттері дәстүрлі бетонға жақындауы әбден мүмкін. Ахен техникалық университетінің зерттеу тобы ұсынған тұжырымдама толық іске асса және олар арматураны бетонға интеграциялау мәселесін шеше алса, онда 3D баспаланған бетонды арматуралау мәселесін шешуде технологиялық серпіліс берер еді. Және бұл әдіспен арматураланған бетонның қасиеттері дәстүрлі бетонға жақын не бірдей болуы ібден мүмкін.

**Қорытынды.** 3D баспаланған бетонды арматуралау – құрылыстағы аддитивті технологияның қазіргі кездегі өзекті мәселелерінің бірі болып тұр. Бұл мақалада 3D баспаланған бетонды арматуралау әдістеріне жан-жақты шолу жасалды. Арматураның әртүрлі түрлерінің функционалдығы қысқаша қарастырылды. Мақалада негізінен 3D баспаланған бетонды арматуралау үрдісін автоматтандыру тұрғысынан қарастырылды.

Металл сым, шынжыр, трос және талшықтар, сонымен қатар, U тәріздес сым қада мен қысқа сым қадалар тек қабатаралық байланысты жақсартуға ғана мүмкіндік береді. Бұл әдістер мұндай арматуралар қолданылмаған бетонға қарағанда біршама беріктік бергенімен, дәстүрлі темірбетонға балама бола алмайды. Ал, әр түрлі торлар мен қадалар бетонның бір бағыттағы беріктігін арттырғанымен, бәрібір дәстүрлі бетонмен салыстыруға келмейді. Демек, бұл әдістер автоматтандыру тұрғысынан жақсы болғанымен, практикалық қолданысқа ену потенциалы өте төмен.

Стандартты болат арматураны пайдаланып автоматты түрде арматуралық тор құратын әдістердің қазіргі кездегі кемшіліктерін жою арқылы бетонды 3D баспалау технологиясын дәстүрлі темірбетон технологиясы деңгейіне дейін көтеру перспективасы бар. Сондықтан, осы салаға келген зерттеушілер осы бағытта зерттеу жұмыстарын жүргізгені абзал.

#### Әдебиеттер тізімі

1. D-Shape [Electronic resource]. – Access mode: <https://d-shape.com/>. Date of access: 21.12.2024.
2. Housing crisis + plastic overflow = prefab made of used bottles [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.youtube.com/watch?v=t7KbfPSDdmc&ab\\_channel=KirstenDirksen](https://www.youtube.com/watch?v=t7KbfPSDdmc&ab_channel=KirstenDirksen). Date of access: 21.12.2024.
3. Singularityhub [Electronic resource]. – Access mode: <https://singularityhub.com/2022/11/04/these-sleek-houses-are-3d-printed-from-recycled-plastic-prices-start-at-26900/>. Date of access: 21.12.2024.
4. Kanyilmaz A., Demir A.G., Chierici M., Berto F., Gardner L., Kandukuri S.Y., Kassabian P., Kinoshita T., Laurenti A., Paoletti I., du Plessis A., Razavi N. Role of metal 3D printing to increase quality and resource-efficiency in the construction sector // Additive Manufacturing. – 2022. – Vol. 50. – P. 102541.
5. Buchanan C., Gardner L. Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges // Engineering Structures. – 2019. – Vol. 180. – P. 332-348.
6. MX3D Bridge [Electronic resource]. – Access mode: <https://mx3d.com/industries/mx3d-bridge/>. Date of access: 21.12.2024.
7. Eco-sustainable 3D printed house – Tecla [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.youtube.com/watch?v=w9sXqxccRPM>. Date of access: 21.12.2024.

8. 3D Printing Architecture [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.3dwasp.com/en/3d-printing-architecture/>. Date of access: 21.12.2024.
9. Ji Y., Poullain P., Leklou N. The selection and design of earthen materials for 3D printing // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 404.
10. Faleschini F., Trento D., Masoomi M., Pellegrino C., Zanini M.A. Sustainable mixes for 3D printing of earth-based constructions // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 398.
11. PrinTimber: Affordable Housing Using 3D Printed Construction Materials from Waste Wood [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.youtube.com/watch?v=54eIyNtNz1k&ab\\_channel=UniversityofIdaho](https://www.youtube.com/watch?v=54eIyNtNz1k&ab_channel=UniversityofIdaho). Date of access: 21.12.2024.
12. BioHome3D [Electronic resource]. – Access mode: <https://composites.umaine.edu/biohome3d/>. Date of access: 21.12.2024.
13. Building with less Waste: Recyclable 3D Printed Formwork from Wood Waste [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.3printr.com/building-with-less-waste-recyclable-3d-printed-formwork-from-wood-waste-0064364/>. Date of access: 21.12.2024.
14. De Schutter G., Lesage K., Mechtcherine V., Nerella V.N., Habert G., Agusti-Juan I. Vision of 3D printing with concrete — Technical, economic and environmental potentials // *Cement and Concrete Research*. – 2018. – Vol. 112. – P. 25-36.
15. Buswell R.A., Leal de Silva W.R., Jones S.Z., Dirrenberger J. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research // *Cement and Concrete Research*. – 2018. – Vol. 112. – P. 37-49.
16. Zhang J., Wang J., Dong S., Yu X., Han B. A review of the current progress and application of 3D printed concrete // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 2019. – Vol. 125. – DOI: 10.1016/j.compositesa.2019.105533.
17. Lu B., Weng Y., Li M., Qian Y., Leong K.F., Tan M.J., Qian S.A systematical review of 3D printable cementitious materials // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 207. – P. 477-490.
18. Paritala S., Singaram K.K., Bathina I., Khan M.A., Jyosyula S.K.R. Rheology and pumpability of mix suitable for extrusion-based concrete 3D printing: A review // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 402.
19. Wang C., Chen B., Vo T.L., Rezanian M. Mechanical anisotropy, rheology and carbon footprint of 3D printable concrete: A review // *Journal of Building Engineering*. – 2023. – Vol. 76.
20. Mandal R., Panda S.K., Nayak S. Rheology of Concrete: Critical Review, Recent Advancements, and Future Prospectives // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 392.
21. Liu K., Takasu K., Jiang J., Zu K., Gao W. Mechanical properties of 3D printed concrete components // *Developments in the Built Environment*. – 2023. – Vol. 16.
22. Warsi S.B.F., Panda B., Biswas P. Exploring fibre addition methods and mechanical properties of fibre-reinforced 3D printed concrete // *Developments in the Built Environment*. – 2023. – Vol. 16.
23. Nodehi M., Aguayo F., Nodehi S.E., Gholampour A., Ozbakkaloglu T., Gencel O. Durability properties of 3D printed concrete (3DPC) // *Automation in Construction*. – 2022. – Vol. 142.
24. Kaliyavaradhan S.K., Ambily P.S., Prem P.R., Ghodke S.B. Test methods for 3D printable concrete // *Automation in Construction*. – 2022. – Vol. 142.
25. Ding T., Xiao J., Mechtcherine V. Microstructure and mechanical properties of interlayer regions in extrusion-based 3D printed concrete // *Cement and Concrete Composites*. – 2023. – Vol. 141.
26. Ahmed G.H. A review of “3D concrete printing”: Materials and process characterization, economic considerations and environmental sustainability // *Journal of Building Engineering*. – 2023. – Vol. 66.
27. Motalebi A., Khondoker M.A.H., Kabir G. A systematic review of life cycle assessments of 3D concrete printing // *Sustainable Operations and Computers*. – 2024. – Vol. 5. – P. 41-50.

28. Kloft H., Empelmann M., Hack N., Herrmann E., Lowke D. Reinforcement strategies for 3D-concrete-printing // *Civil Engineering Design*. – 2020. – Vol. 2. – P. 131-139.
29. Mechtcherine V., Buswell R., Kloft H., Bos F.P., Hack N., Wolfs R., Sanjayan J., Nematollahi B., Ivaniuk E., Neef T. Integrating reinforcement in digital fabrication with concrete: A review and classification framework // *Cement and Concrete Composites*. – 2021. – Vol. 119.
30. Savvides L.A History of 3D Printing: Three Waves of Development // *3D Printing Cultures, Politics and Hackerspaces (Digital Activism and Society: Politics, Economy And Culture In Network Communication)*. – Leeds: Emerald Publishing Limited, 2021. – P. 29-51.
31. Smith D. Printed buildings: an international race for the ultimate in automation // *Construction Research and Innovation*. – 2012. – Vol. 3, No. 2. – P. 26-31.
32. The Real First 3D Printed Building (1930's) [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.youtube.com/watch?v=DI9rhG5BPrM&t=257s>. Date of access: 21.12.2024.
33. Urschel, W. E. Machine for building walls. U.S. Patent No. 2,339,892, January 25, 1944. – Washington, DC: United States Patent Office.
34. Concrete Without Forms [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.youtube.com/watch?v=nkxe9uK8jSo>. Date of access: 21.12.2024.
35. Urschel Wall Building Machine [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.youtube.com/watch?v=QXqwnJTVSsE>. Date of access: 21.12.2024.
36. Bos Z.Y., Ahmed E.R., Jutinov T.A.M., Salet T.A.M. Experimental exploration of metal cable as reinforcement in 3D printed concrete // *Materials*. – 2017. – Vol. 10.
37. Ma G., Li Z., Wang L., Bai G. Micro-cable reinforced geopolymer composite for extrusion-based 3D printing // *Materials Letters*. – 2019. – Vol. 235. – P. 144-147.
38. Caron J.F., Demont L., Ducoulombier N., Mesnil R. 3D printing of mortar with continuous fibres: Principle, properties and potential for application // *Automation in Construction*. – 2021. – Vol. 129. – P. 103806.
39. Neef T., Müller S., Mechtcherine V. 3D-Druck mit Carbonbeton: Technologie und die ersten Untersuchungsergebnisse // *Beton- und Stahlbetonbau*. – 2020. – Vol. 115. – No. 12. – P. 943-951.
40. Lim J.H., Panda B., Pham Q.C. Improving flexural characteristics of 3D printed geopolymer composites with in-process steel cable reinforcement // *Construction and Building Materials*. – 2018. – Vol. 178. – P. 32-41.
41. Gebhard L., Mata Falcón J., Anton A., Dillenburger B., Kaufmann W. Structural behaviour of 3D printed concrete beams with various reinforcement strategies // *Engineering Structures*. – 2018. – Vol. 240.
42. Wang L., Ma G., Liu T., Buswell R., Li Z. Interlayer reinforcement of 3D printed concrete by the in-process deposition of U-nails // *Cement and Concrete Research*. – 2021. – Vol. 148. – P. 106535.
43. Geneidy O., Kumarji S., Dubor A., Sollazzo A. Simultaneous Reinforcement of Concrete while 3D Printing // *RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*. – 2020. – P. 895-905.
44. Perrot A., Jacquet Y., Rangedard D., Courteille E., Sonebi M. Nailing of layers: A promising way to reinforce concrete 3D printing structures // *Materials*. – 2020. – Vol. 13. – No. 7. – P. 1518.
45. Hass L., Bos F. Bending and pull-out tests on a novel screw type reinforcement for extrusion-based 3D printed concrete // *RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*. – 2020. – P. 632-645.
46. Mechtcherine V., Nerella V. N. Integration der Bewehrung beim 3D-Druck mit Beton // *Beton- und Stahlbetonbau*. – 2018. – Vol. 113. – P. 496-504.
47. Marchment T., Sanjayan J. Mesh reinforcing method for 3D concrete printing // *Automation in Construction*. – 2020. – Vol. 109. – P. 102992.
48. Marchment T., Sanjayan J. Bond properties of reinforcing bar penetrations in 3D concrete printing // *Automation in Construction*. – 2020. – Vol. 120. – P. 103394.

49. Marchment T., Sanjayan J. Reinforcement method for 3D concrete printing using paste-coated bar penetrations // Automation in Construction. – 2021. – Vol. 127. – P. 103694.
50. Liu M., Wang L., Ma G., Li W., Zhou Y. U-type steel wire mesh for the flexural performance enhancement of 3D printed concrete: A novel reinforcing approach // Materials Letters. – 2023. – Vol. 331.
51. Ding T., Qin F., Xiao J., Chen X., Zuo Z. Experimental study on the bond behaviour between steel bars and 3D printed concrete // Journal of Building Engineering. – 2022. – Vol. 49.
52. Wang Z., Jia L., Deng Z., Zhang C., Zhang Z., Chen C., Pan J., Zhang Y. Bond behavior between steel bars and 3D printed concrete: Effect of concrete rheological property, steel bar diameter and paste coating // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 349.
53. Aramburu A., Calderon-Uriszar-Aldaca I., Puente I. Bonding strength of steel rebars perpendicular to the hardened 3D-printed concrete layers // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 340.
54. Scott, C. Chinese construction company 3D prints an entire two-story house on-site in 45 days. – 2016. – Vol. 2 [Electronic resource]. – Access mode: <https://3dprint.com/138664/huashangtengda-3d-print-house/>. Date of access: 21.12.2024.
55. Doris, V. V2 Vesta Beton-3D-Drucker baut kleines Haus. – 2016 [Electronic resource]. – Access mode: <https://3druck.com/drucker-und-produkte/v2-vesta-beton-3d-drucker-baut-kleines-haus-2846225/>. Date of access: 21.12.2024.
56. Xiao J., Ji G., Zhang Y., Ma G., Mechtcherine V., Pan J., Wang L., Ding T., Duan Z., Du S. Large-scale 3D printing concrete technology: Current status and future opportunities // Cement and Concrete Composites. – 2021. – P. 104115.
57. Winsun. 3D printing creates better buildings. – 2014 [Electronic resource]. – Access mode: [http://www.winsun3d.com/News/news\\_inner/id/389](http://www.winsun3d.com/News/news_inner/id/389). Date of access: 21.12.2024.
58. Kloft H., Empelmann M., Hack N., Herrmann E., Lowke D. Reinforcement strategies for 3D-concrete-printing // Civil Engineering Design. – 2020. – Vol. 2. – No. 4. – P. 131-139.
59. Hack, N., Kloft, H. Shotcrete 3D printing technology for the fabrication of slender fully reinforced freeform concrete elements with high surface quality: a real-scale demonstrator // RILEM Bookseries. – Springer, 2020. – P. 1128-1137.
60. Alec. Lewis Grand Hotel teams with Andrey Rudenko to develop world's first 3D printed hotel, planning 3D printed homes. – 2015 [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.3ders.org/articles/20150909-lewis-grand-hotel-andrey-rudenko-to-develop-worlds-first-3d-printed-hotel.html>. Date of access: 21.12.2024.
61. Murphy, M. Apis Cor can 3D-print an entire house in just one day. – 2017 [Electronic resource]. – Access mode: <https://qz.com/924909/apis-cor-can-3d-print-and-entire-house-in-just-one-d>. Date of access: 21.12.2024.
62. Hack N., Dorfler K., Walzer A.N., Wangler T., Mata-Falcon J., Kumar N., Buchli J., Kaufmann W., Flatt R.J., Gramazio F., Kohler M. Structural stay-in-place formwork for robotic in situ fabrication of non-standard concrete structures: a real scale architectural demonstrator // Automation in Construction. – 2020. – Vol. 111. – P. 103197.
63. Classen M., Ungermaun J., Sharma R. Additive Manufacturing of Reinforced Concrete // Development of a 3D Printing Technology for Cementitious Composites with Metallic Reinforcement // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10(11). – P. 3791.

*Зерттеу жұмыстары ҚР ҒЖБМ Ғылым комитеті тарапынан қаржыландырылған АР19178044 «Әскери мақсаттағы құрылыс объектілерін салуға арналған құрылыс 3D принтерінің баспа бастиегін жобалау және әзірлеу» жоба аясында орындалды.*

*Материал редакцияға 14.04.25 түсті, 25.09.25 қабылданды.*

М.Қ. Сағынтай<sup>1,2</sup>, А.А. Адиева<sup>3</sup>, И.Б. Ташмуханбетова<sup>3</sup>,  
Д.А. Уксикбаева<sup>3</sup>, Л.Б. Макулбай<sup>3</sup>, А.Қ. Мустафа<sup>1,2</sup>, Е.З. Нұғман<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им.  
К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО «RnD Center», г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Международная образовательная корпорация, Казахская головная архитектурно-  
строительная академия, г. Алматы, Казахстан

### ОБЗОР МЕТОДОВ АРМИРОВАНИЯ БЕТОНА 3D-ПЕЧАТЬЮ

**Аннотация.** Одной из актуальных проблем аддитивной технологии в строительстве на сегодняшний день является армирование бетона 3D-печатью. В этой статье представлен всесторонний обзор методов армирования с особым упором на автоматизацию процесса армирования бетона 3D-печатью. Хотя функциональность различных типов арматуры кратко рассматривается, основное внимание уделяется ее технологическим аспектам. Поскольку в этой обзорной статье основное внимание уделялось автоматизации, некоторые методы, которые не могут быть автоматизированы, не рассматривались. После рассмотрения каждого метода в обзорной статье оценивалась его способность к автоматизации, а его свойства сравнивались с традиционными железобетонами.

**Ключевые слова:** аддитивная технология, бетон с 3D-печатью, стандартная стальная арматура, армирование бетона с 3D-печатью, автоматизация армирования.

М.К. Sagyntay<sup>1,2</sup>, А.А. Adieva<sup>3</sup>, I.B. Tashmuhanbetova<sup>3</sup>,  
D.A. Uksikbaeva<sup>3</sup>, L.B. Makulbai<sup>3</sup>, A.K. Mustafa<sup>1,2</sup>, Y.Z. Nugman<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>LLP "RnD Center", Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>International Educational Corporation, Kazakh Leading Academy of Architecture and Civil  
Engineering, Almaty, Kazakhstan

### OVERVIEW OF 3D-PRINTED CONCRETE REINFORCEMENT METHODS

**Abstract.** One of the urgent problems of additive technology in construction today is the reinforcement of concrete by 3D printing. This article provides a comprehensive overview of reinforcement methods, with a particular focus on automating the 3D-printed concrete reinforcement process. Although the functionality of various types of fittings is briefly discussed, the main focus is on its technological aspects. Since this review article focused on automation, some methods that cannot be automated were not considered. After reviewing each method, the review article evaluated its ability to automate, and its properties were compared with traditional reinforced concrete.

**Keywords:** additive technology, 3D-printed concrete, standard steel reinforcement, 3D-printed concrete reinforcement, reinforcement automation.

МРНТИ 67.09.35

Б.О. Адырбаев<sup>1</sup> – основной автор, ©  
А.З. Дархан<sup>2</sup>, А.С. Куртаев<sup>3</sup>, Б.О. Есимов<sup>4</sup>,  
М.Е. Курбанбаев<sup>5</sup>, Т.А. Адырбаева<sup>6</sup>, Е.С. Дубинина<sup>7</sup>



<sup>1,2</sup>Магистр, Докторант, <sup>3</sup>Академик НИИ РК, <sup>4</sup>Д-р геол.-минерал. наук, профессор, <sup>5</sup>Канд. техн. наук, <sup>6,7</sup>Канд. техн. наук, доцент

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-4588-5717> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3420-9465>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0009-0880-1041> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-8130-1486>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0003-0626-5934> <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0001-7049-3099>  
<sup>7</sup><https://orcid.org/0000-0001-9952-4573>



<sup>1,2,4,5,6,7</sup>Южно-Казахстанский исследовательский университет им. М. Ауэзова,  
г. Шымкент, Казахстан

<sup>3</sup>АО «Национальный центр Экспертизы и Сертификации»,  
г. Астана Казахстан

@

<sup>1</sup>[bekjan.94.com@mail.ru](mailto:bekjan.94.com@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/COCG7458>

## ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ КОНДИЦИОННОСТИ КЕРАМОГРАНИТОВОГО ПОЛЕВОШПАТОВОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОКРЕМНЕЗЕМНЫХ ГРАНИТОВ БАДАМСКОГО МАССИВА

**Аннотация.** Импортзамещение в сфере современных керамических материалов играет важную роль в развитии отечественной промышленности. Практика производства показала, что одним из наиболее проблемных аспектов в керамогранитовой индустрии является поиск и подбор отечественного полевошпатового сырья, которое существенно влияет на минеральный состав и структуру, а в целом на физико-механические показатели синтезируемого материала. К тому же в четырехкомпонентной керамогранитовой массе расчетная доля полевошпатового компонента внушительна и находится в пределах 30-40%. В данной статье рассматриваются результаты минералого-петрографических и впервые проведенных экспериментальных исследований по определению возможности дальнейшего повышения кондиционности гранитов Бадамского массива в качестве альтернативы импортному полевошпатовому сырью. Бадамский гранитовой массив – самый близкий предполагаемый источник полевого шпата для действующего первого и будущих керамогранитовых производств в южном регионе Казахстана.

**Ключевые слова:** керамогранит, минеральное сырье, полево шпат, синтез, импортзамещение.



Адырбаев, Б.О. Возможность повышения кондиционности керамогранитового полевошпатового сырья на основе высококремнеземных гранитов Бадамского массива [Текст] / Б.О. Адырбаев, А.З. Дархан, А.С. Куртаев, Б.О. Есимов, М.Е. Курбанбаев, Т.А. Адырбаева, Е.С. Дубинина // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.295-308. <https://doi.org/10.55956/COCG7458>

**Введение.** Керамогранит в нашей Республике в числе важнейших современных приоритетных строительных материалов. В пространстве

среднеазиатских республик его производство началось впервые в нашей стране два десятилетия тому назад и ныне годовой объем выпуска достиг более 6 млн. м<sup>2</sup>, что удовлетворяет лишь одну треть ее потребности [1].

Как показывают производственный опыт и анализ технологического процесса получения керамогранита, оптимальное решение вопросов импортозамещения именно полевошпатового сырья является одной из первостепенных задач с точки зрения улучшения сырьевой безопасности и экономики производства.

Теоретически применение полевых шпатов основано на их свойствах при сравнительно невысоких для керамики температурах образовывать жидкую стеклофазу, которая взаимодействуя с глинами и кварцем при застывании в условиях твердофазовых реакций формирует совершенно новую и не характерную для природных условий муллитовую ( $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ ) фазовую основу керамогранита.

Целенаправленные химико-минералогические, высокотемпературные экспериментальные и технологические исследования вопросов импортозамещения дорогостоящего полевошпатового сырьевого материала и разработка рациональных технологий получения керамогранита весьма актуальны для бурно развивающейся керамогранитовой отрасли.

У исследуемых бадамских гранитов выявлены своеобразные особенности вещественного состава, весьма значимые в процессах высокотемпературного минералообразования при синтезе керамогранита. Так, в отличие от аналогичных интрузивов, они интенсивно обогащены крупными идиоморфными кристаллами полевых шпатов, а благодаря обилию крупных водяно-прозрачных выделений кварца, они оценены нами как высококремнеземистые.

Дальнейший эффект улучшения качества, предлагаемого к широкому внедрению полноценного полевошпатового сырья достигнут удалением из измельченного гранита магнитных фракций, представленных небольшим количеством акцессорных минералов типа магнетита и титаномагнетита, с использованием современных электромагнитных сепараторов.

Впервые доказана возможность использования в технологии керамогранита гранитов Бадамского массива в качестве полевошпатового сырья. С учетом уникальности состава, свойств и запасов, а также близости и легкодоступности это месторождение следует считать, как потенциально-перспективный импортозамещающий источник полевого шпата.

**Условия и методы исследований.** В экспериментальных исследованиях по разработке нового по составу керамогранита в работе изучены и использованы известные в отрасли традиционной керамики отечественные березовские глины, алексеевские каолины, акжарские пески и новый в этом деле вид полевошпатового минерального сырья – высококремнеземные бадамские граниты.

Глины березовские серовато-белого цвета, местами отмечаются участки бурого цвета, на ощупь жирные и, что немаловажно, характеризуются отсутствием карбонатных примесей. По результатам полуколичественного рентгенофазового анализа, концентрация каолинита в глинах – 79,7%, кварца – 13,6%, слюды – 5,2%, калиевого полевого шпата – 1,5%, а содержания основных оксидов –  $\text{SiO}_2$  56,50%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  36,77%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1,99%,  $\text{TiO}_2$  1,80%,  $\text{K}_2\text{O}$  2,29%. Основные качественные показатели глин –

огнеупорные, высокодисперсные, среднепластичные (15,4-16,8), температура спекания 1250°C [2].

Каолины алексеевские представляют собой мелкий порошок белого цвета, на ощупь мягкие, сыпучие и жирные. Полученные результаты указывают на содержание в исследуемой пробе сырья: каолинита – 70,1%, кварца – 25,0%, слюда – 2,3%, ортоклаза – 0,8%, альбита – 1,7%, а содержания основных оксидов – SiO<sub>2</sub> 48,50%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 35,41%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,90%, K<sub>2</sub>O 2,08%, Na<sub>2</sub>O 0,14%. Основные качественные показатели каолина – огнеупорные, высокодисперсные, среднепластичные (18,7), температура спекания 1240°C [2].

Кварцевые пески акжарские по цвету белые, сыпучие, состоят в основном из зернистых частиц кварца. Минералогический состав использованной пробы сырья представлен: кварц – 86,7%, ортоклаз – 7,9%, альбит – 3,9%, слюды – 1,5%, а содержания основных оксидов в среднем – SiO<sub>2</sub> 97,35%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,37%, CaO 0,26%, Na<sub>2</sub>O 0,5%, K<sub>2</sub>O 0,26% [2,3].

Бадамское месторождение гранитов, ранее известное как залежь бутого камня, расположено в Ордабасынском районе, площадь выхода массива на дневную поверхность составляет около 8 км<sup>2</sup>. Порода имеет разнообразные цветовые оттенки от розового до серого и синевато-зеленоватого. Она характеризуется мелко- и среднезернистой структурой с порфировидными крупными кристаллическими выделениями полевых шпатов размером до 12 мм и более (рис. 1). Своеобразен химический состав, где SiO<sub>2</sub> 66-76%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 11,2-16,1%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,5-5,25%, FeO 0,6-8,1%, CaO 0,4-5,9%, MgO 4,5%, Na<sub>2</sub>O 2,7-5,6%, K<sub>2</sub>O 0,9-6,6%, TiO<sub>2</sub> 0,58% [2, 3].



Рис. 1. Характерная порфировая структура исследуемого гранита, образованная преимущественно из крупных кристаллических вкраплений полевых шпатов

В большинстве случаев в составе породы преобладает калиевый полевой шпат, количество которого достигает 55%. Плаггиоклаз в виде короткостолбчатых и призматических кристаллов занимает до 30-35% площади шлифа. Содержание кварца в породе колеблется от 17 до 25%. Следует подчеркнуть заметную кремнеземность этих пород, достигающей 76%. Как известно из энциклопедических источников, в обычных гранитах доля этой молекулы колеблется в пределах 68-73%. Аналогичная картина и с суммой содержаний K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O. В исследуемых гранитах она равна 3,6-12,2%, тогда как общепринято считать нормальным содержания 3,5-9,0%. Важно, что в целом химический состав исследуемого гранита строго в

системе  $K_2O+Na_2O-Al_2O_3-SiO_2$ . Как известно, для изучения данной системы используется диаграмма состояния И.Ф. Шерера и Н.Л. Боуэна (рис. 2), которая показывает равновесное состояние между фазами при различных температурах и составах, то есть помогает ориентироваться в процессах минералообразования и управлять свойствами керамогранита.

Как видно из химического состава гранитов, сумма  $Fe_2O_3+FeO$  колеблется в пределах 1,1-13,35%, что дает представление о значительных порой концентрациях магнетита и титаномагнетита, а также о возможных негативных последствиях из-за этого при термической обработке и кристаллизации разработанных составов.

Вопросам химического состава и влияниям чистоты стартового состава керамогранита на микроструктуру и механические свойства посвящены исследования ряда исследователей [4-7], которые подчеркивают их первостепенное значение для реализации технологий.

В целях избавления от вышеуказанных рудных фаз в составе сырья нами определена целесообразность использования метода электромагнитной сепарации, основанной на разделении фаз в силу их магнитных свойств.

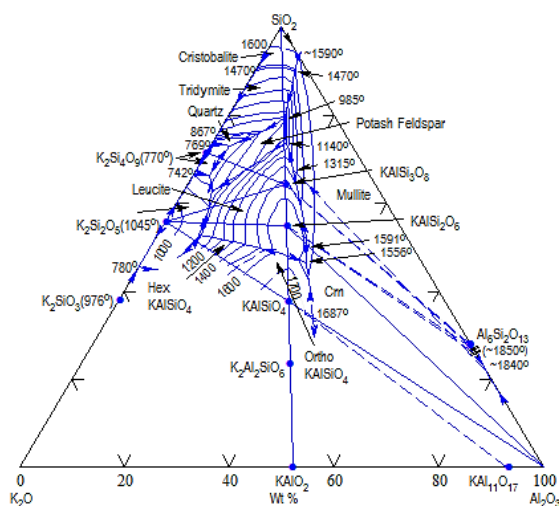


Рис. 2. Диаграмма состояния системы  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$  (по Шереру и Боуэну)

Последующие этапы исследований состояли из разработок экспериментальных шихт, подготовки шихт путем сушки и помола, дозирования и получения шликерной массы, измельчения высушенного шликера, формовки опытных керамогранитовых плиток при давлении 400 бар, из кристаллизационного обжига плиток в роликовой печи в производственных условиях при температуре 1200°C, а также исследования и анализа результатов водопоглощения, морозостойкости, предела прочности при изгибе и термостойкости разработанных плиток.

Технологический этап исследований выполнялся с применением методов рентгенофазового, дифференциально-термического, электронно-микроскопического анализа и традиционных лабораторных методов установления физико-механических свойств образцов керамогранита.

При изучении минерально-фазового состава сырья и полученных керамогранитовых плиток, помимо всего, применялся

рентгенодифрактометрический анализ на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с  $Si_{K\alpha}$  – излучением,  $\beta$ -фильтр. Условия съемки дифрактограмм:  $U=35$  кВ;  $I=20$  мА; съемка  $\theta$ - $2\theta$ ; детектор 2 град/мин. Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF 2 (Powder Diffraction File) Release 2022 и программы HighScorePlus. Для основных фаз проводился расчет содержания.

Микроструктура, формы кристаллических выделений, размеры, их количественная характеристика, а также микроанализ вновь образованных минеральных фаз в синтезируемых керамогранитах изучались с помощью современного многоцелевого растрового электронного микроскопа серии JSM-6490LV (JEOL.Ltd, Япония, 2007 г.в.) с мощным программным обеспечением, компьютерным контролем. Электронный микроскоп JSM-6490LV имеет 2 приставки (Oxford Instruments) для энергодисперсионного микроанализа INCA Energy350, текстурного анализа поликристаллических и кристаллических образцов HKL Basic.

Технологическое обеспечение формирования эффективной микроструктуры керамогранита является сложной задачей, от нее функционально зависимы все свойства материала [8-10].

Определение важнейших технических показателей опытных образцов керамогранита - водопоглощение, морозостойкость, предел прочности при изгибе и термостойкость проводились по СТ РК 1954-2017 Плитки керамогранитные. Общие технические условия.

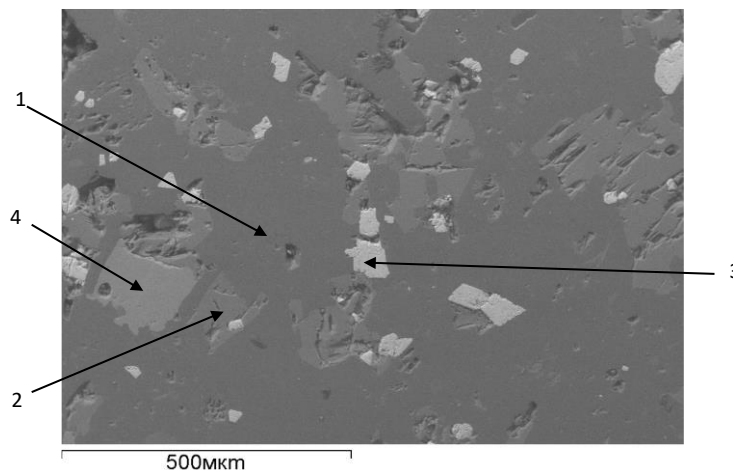
Водопоглощение вычислялось исходя из результатов взвешивания плиток в сухом и насыщенном водой состояниях. Определение морозостойкости заключался в выявлении возможных дефектов у испытуемых образцов плиток после насыщения водой и воздействия температур  $+25^{\circ}\text{C}$  и  $-25^{\circ}\text{C}$  в течение установленного числа циклов «замораживания-оттаивания». Предел прочности плиток при изгибе определялся посредством приложения усилия не менее 40 МПа на середину образца до его разрушения. Определение термической стойкости целой керамогранитовой плитки устанавливался по попеременному воздействию температур  $15^{\circ}\text{C}$  и  $150^{\circ}\text{C}$  в течение требуемого числа циклов до выявления дефектов.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Впервые с использованием натурального гранита Бадамского месторождения в качестве полевошпатового сырья в керамогранитовой шихте разработаны составы и получен отвечающий всем техническим требованиям материал.

Установлена природа технологической ценности данных гранитов, связанная с высокой обогащенностью породы глиноземом и щелочью-плавнем. Они сконцентрированы в структурах ортоклаза и альбита, суммарное содержание которых достигает 90%. С другой стороны, исследуемые граниты необычайно кремнеземисты, что немаловажный стеклообразующий фактор.

Учитывая несомненные перспективы бадамских гранитов как будущего импортозамещающего источника полевошпатового сырья, нами с целью обеспечения его качественной безопасности проанализированы ситуации, которые могли бы отрицательно сказаться на характеристике вещественного

состава сырья по мере освоения краевых и глубинных частей массива. В этом плане больше всего обращает на себя внимание количественная вариативность вышеописанной рудной минерализации (рис. 3). Опыт показал, что появление в муллитово-кварцевой структуре керамической массы несиликатных фаз, как правило, приводит к снижению физико-механических свойств материала.

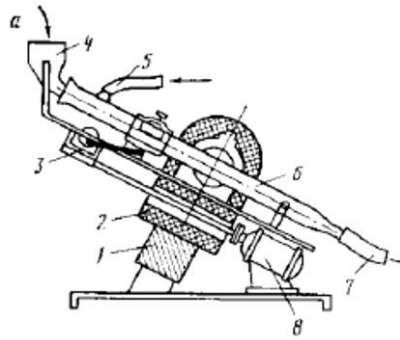


1 – полевой шпат как общий фон; 2 – кварц; 3 – магнетит; 4 – апатит.

Рис. 3. Микрофотография аншлифа гранита с указанием представителей его вещественного состава

Подобран метод извлечения неравномерно распределенных в горной породе магнитных фракций, где учтен опыт «Уралмеханобр» и ОАО «Мальшевское рудоуправление» по селективной флотации полевых шпатов из хвостов руд в гранитных пегматитах [11]. Выполнен цикл работ по оптимальному отбору магнитных фракций из исследуемых бадамских гранитов на специализированной базе кафедры «Металлургия и обогащения полезных ископаемых» в НАО КазНИТУ им К.И. Сатбаева.

На лабораторные тесты по магнитной сепарации было подготовлено необходимая масса измельченной до крупности менее 2 мм исследуемых гранитов. Первоначально для определения выхода магнитной фракции проведены опыты на трубчатом магнитном анализаторе. Анализатор состоит из сердечника и обмоток замкнутой электромагнитной системы с конусными полюсными наконечниками, между которыми с помощью электродвигателя и кривошипно-шатунного механизма вращательно-возвратно-поступательно движется стеклянная трубка (рис. 4). В трубку подавалась промывочная вода, расход регулировался по установленному сливу через шланг удаления продуктов. Уровень воды в трубке поддерживался выше полюсных наконечников. Анализируемая проба смачивалась в стаканчике, постепенно заливалась в трубку через приемное устройство и грушей вымывалась из стаканчика, при этом сливной шланг направлялся в емкость для сбора немагнитной фракции.



1 – сердечник; 2 – обмотки электромагнитной системы; 3 – механизм привода трубки; 4 – приемное устройство; 5 – шланг подачи воды; 6 – трубка; 7 – сливной шланг; 8 – электродвигатель.

Рис. 4. Трубчатый анализатор

Изменение качества магнитной фракции и извлечения железа наглядно показано на графике (рис. 5).

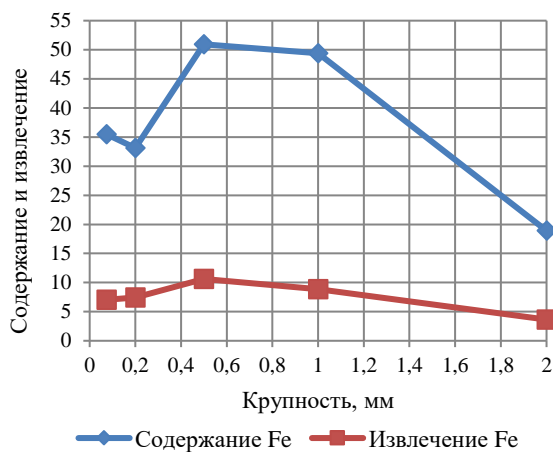


Рис. 5. График зависимости качества и извлечения Fe в магнитной фракции от крупности измельчения

Магнитная фракция при напряженности установленной током электромагнитной системы притягивается к стенкам трубки у полюсов. Сложное движение трубки способствует вымыванию немагнитных частиц из флокул. Анализ продолжали до получения чистой сточной воды в нижней части трубки, после чего сливной шланг перенесли в емкость для сбора магнитной фракции и выключался ток электромагнитной системы. Подача воды прекращалась после полного смыва магнитной фракции. Полученные продукты отстаивали, воду декантировали, продукты высушивались и взвешивались.

Максимальное извлечение 10,62% и содержание железа 50,94% достигнуто в продукте, измельченном до 0,5 мм.

С учетом полученных данных опыты на укрупненной пробе, измельченной до 0,5 мм, проведены на прямоточном электромагнитном барабанном сепараторе 120 Т-СЭМ. Эксперимент проведен при

максимальной напряженности магнитного поля, создаваемого электромагнитной системой сепаратора 1100 Эрстед, по следующей схеме (рис. 6).

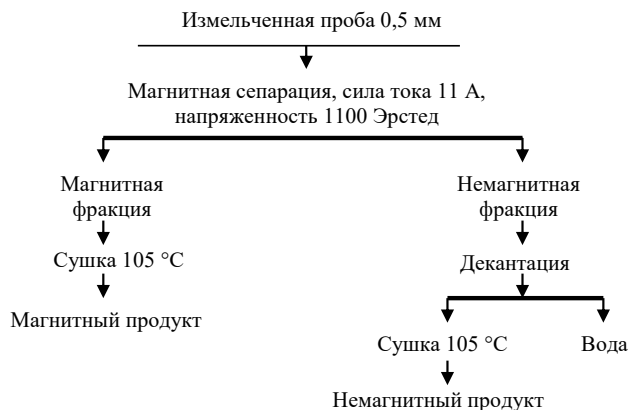


Рис. 6. Схема удаления магнитной фракции на прямоточном электромагнитном барабанном сепараторе 120 Т-СЭМ

В результате проведенного эксперимента получена магнитная фракция выходом 0,41% с содержанием железа 57,34% при извлечении 9,02%. Выход немагнитной фракции составил 99,59% с содержанием железа 2,38% при извлечении 90,98%.

Химические составы наиболее оптимальных сырьевых материалов, подобранных по результатам комплексных исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Химические составы сырьевых материалов, включенных в качестве компонентов для разработки керамогранитовых масс

Минеральное сырье	Содержание оксидов, % по массе							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Глины березовские	51,36	29,64	1,44	1,10	1,46	1,39	1,38	0,90
Каолины алексеевские	71,02	20,07	-	-	0,48	0,55	1,24	0,46
Кварцевые пески акжарские	89,36	4,47	0,46	0,69	0,03	1,43	1,95	0,40
Граниты бадамские обогащенные	67,6	16,8	0,72	0,57	0,39	0,21	11,5	2,12

Разработанный состав керамогранитной массы, полученный путем анализа кривых плавкости на диаграммах состояний, исследованиями физико-химических и структурных превращений в многокомпонентных системах при обжиге и по результатам технологических экспериментов, приведен в таблице 2.

Таблица 2

Сырьевой состав разработанной керамогранитной массы

Компоненты	Содержания компонентов в массе, %
Глины	26,0
Каолины	28,0
Кварцевые пески	8,0
Граниты обогащенные	38,0

Для изготовления керамогранита методом прессования из полусухих порошков применялась шликерная технология подготовки массы.

Глина, каолины, кварцевые пески и граниты подвергались сушке из-за заметного естественного влагосодержания. Дозирование компонентов шихты было весовое. Помол производился в лабораторной шаровой мельнице периодического действия до прохождения измельченных фракции через сито 60 мкм. Получаемая масса – шликер или водная суспензия, частицы которой обладали достаточно мелкой и однородной величиной, чтобы можно было перейти к следующей стадии обработки. Готовый однородный шликер выливался в посуду, затем сушился в сушильном шкафу при температуре  $100 \pm 10^\circ\text{C}$ . Соблюдалось условие, когда шликер должен полностью высушиться от влаги. Далее высушенный шликер измельчался и к нему добавлялась вода 5-6% от веса измельченного порошка для последующей формовки. Порошок прессовался в лабораторном прессе при давлении 400 бар. Лабораторные образцы керамогранита сушились после формовки в сушильном шкафу до 0,5% влагосодержания. Образцы обжигались в роликовой печи в производственных условиях при  $1200^\circ\text{C}$ . Режим обжига подбирался и корректировался в процессе исследований.

Во всех случаях использовались по 5 образцов керамогранита для вычисления наиболее представительных средних физико-механических показателей (рис. 7).



Рис. 7. Образцы керамогранитовых плиток на основе разработанных составов и полученных в заводских условиях

Один из основных качественных показателей керамогранита – водопоглощение связано с ранней деструктуризацией полевошпатовых компонентов и реакцией взаимодействия их с образованием новых кристаллических фаз, плавлением легкоплавких эвтектик с образованием стекловидной фазы и полиморфными превращениями систем  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  и  $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ , уже при температурах  $600-700^\circ\text{C}$ .

Следует подчеркнуть, что в отличие от традиционной керамики, при формировании керамогранитовых плиток используется более высокое давление, достигающее 500 кгс/см<sup>2</sup>. Это обстоятельство весьма положительно влияет на показатели водопоглощения керамогранитовых образцов.

В завершающей стадии обжига, при температуре выше 1200°С, в полевошпатовом расплаве начинается диффузионный процесс растворения каолиникового остатка и кварца, столь необходимый для построения кристаллической решетки новообразований муллита – конечной цели технологии керамогранита.

В этих процессах, как подтверждают проведенные эксперименты, решающее значение имеет вязкость первоначального расплава, который начинает появляться в теле термообрабатываемой массы по достижении определенной температуры. Чрезмерно вязкий расплав не обеспечивает полной цементации частиц, в то время как маловязкий расплав как бы хорошо смачивает кристаллические частицы, но способствует появлению позже нежелательной деформации в виде искривлений изделий.

Установлено, что чем больше расплав насыщается растворяющимся в нем кремнеземом и глиноземом, тем выше его вязкость и выше требуемые показатели образцов. Обжиг изделий при найденной оптимальной температуре обеспечивал необходимые качества материала на основе разработанных масс.

Это обусловлено тем, что при достижении температуры плавления полевошпатового расплава последний выполняет роль растворителя кварца и каолиникового остатка, связки непрореагировавших с расплавом кварца и каолиникового остатка, а также активного минерализатора, способствующего протеканию внутримолекулярных превращений каолинита, диффузионных процессов и росту линейных размеров новообразований.

При этом происходит насыщение полевошпатового расплава диффундирующими ионами алюминия в расплаве.

Полнота протекания этих процессов зависит от растворимости кристаллической фазы в жидкую фазу, количества жидкой фазы и ее свойств – способности смачивать твердые частички, растекаться по их поверхности и проникать в капиллярные щели между твердыми частичками [12,13].

Определены и проанализированы все основные физико-механические свойства (табл. 3) разработанных опытных керамогранитных образцов, они соответствуют требованиям, предъявляемым к керамогранитным материалам.

Таблица 3

Физико-механические показатели разработанных образцов керамогранита на основе бадамских гранитов

Показатели	Нормируемые показатели по СТ РК 1954-2017	Показатели разработанных образцов керамогранита	
		Полевошпатовый компонент – натуральный гранит	Полевошпатовый компонент – гранит без магнитной фракции
1	2	3	4
Предел прочности при изгибе, МПа, не менее	40	41	44
Водопоглощение, %, не более	0,5	0,1	0,03

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
Морозостойкость, п цикла, не менее	100	111	120
Износостойкость (по кварцевому песку), г/см <sup>2</sup> , не более	0,18	0,15	0,11
Термическая стойкость, п цикла, не менее	125	131	143

Данные рентгенофазового анализа (рис. 8) синтезированного керамогранита указывают на муллит ( $d/n = 5,414; 3,408; 2,880; 2,697; 2,545; 2,206;$ ) и кварц ( $d/n = 4,262; 3,345; 2,455; 2,285; 2,129; 1,981; 1,818$ ).

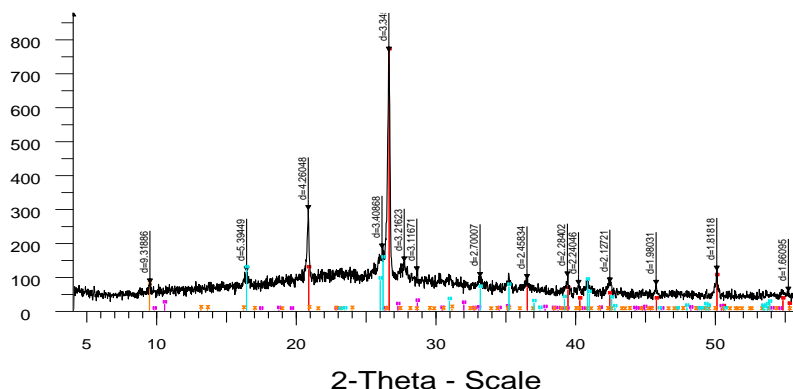


Рис. 8. Рентгенограмма синтезированного керамогранита

Определены и проанализированы основные физико-механические и электрические свойства опытных образцов керамогранита.

**Закключение.** На основе гранитов Бадамского массива впервые разработан и получен керамогранит при следующем соотношении компонентов шихты: глины – 26%, каолины – 28%, кварцевые пески – 8%, граниты обогащенные – 38%. Найдена возможность повышения кондиционности полевошпатового сырья нового источника.

Как показывает анализ всего процесса производства керамогранита, самым узким и проблемным вопросом в этом деле является подбор полевошпатового сырья. Именно от полевого шпата в составе керамогранитовой шихты больше всего зависит формирование петрографического состава и структуры материала, обеспечивающие нужные свойства искусственного камня.

Все свойства разработанного керамогранита соответствуют требованиям действующего стандарта. Высокие показатели их технических свойств объясняются достижением удаления акцессорного магнитного вещества, оптимальных муллитово-кварцевых минеральных фаз и их соотношений, а также благоприятной структурой синтезируемого материала.

Результаты исследований показывают, что бадамские граниты могут быть успешно использованы в производстве керамогранита в качестве импортозамещающего полевошпатового сырья и по геолого-экономическим показателям они весьма потенциально перспективны.

**Список литературы**

1. Есимов, Б.О. Приоритетные строительные материалы и их минерально-сырьевое обеспечение [Текст]: учебник / Б.О. Есимов, С.С. Сейтжанов, М.К. Битемиров. – Шымкент: ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2016. – 223 с.
2. Кулинич, В.В. Месторождения горнорудного сырья Казахстана [Текст]: справочник Том I / В.В. Кулинич, В.Г. Сагунов, Б.С. Ушкенов, Н.Я. Гуляева, О.Б. Бейсеев, Н.Н. Ведерников, А.А. Антоненко, С.Я. Баякунова. – Алматы: 2000. – 372 с.
3. Есимов, Б.О. Минерально-сырьевые ресурсы Туркестанской области для цементных, керамических и стекольных производств [Текст]: монография / Б.О. Есимов, В.В. Руснак, Т.А. Адырбаева, Ю.В. Егоров, А.В. Анашкин, Б.О. Адырбаев. – Шымкент: Элем, 2025. – 352 с.
4. Адырбаев, Б.О. О роли полевых шпатов в составе масс керамогранита [Текст] / Научные труды ЮКГУ им.М.Ауэзова. – 2017. – № 4 (44). – С.131-135.
5. Nori A.D. Jr., Hotza D., Soler V.C., Vilches E.S. Influence of composition on mechanical behavior of porcelain tile. Part 1: Microstructural characterization and developed phases after firing // Materials Science and Engineering. – 2010. – Vol. 527. – Issues 7-8. – P. 1730-1735.
6. Junior A.D.N., Hotza D., Soler V.C., Vilches E.S., Influence of porcelain tile starting composition on tile microstructure and mechanical properties // Qualicer. – 2008. – P. 61-73.
7. Dondi M., Ercolani G., Melandri C., Mingazzini C., Marsigli M. The chemical composition of porcelain stoneware tiles and its influence on microstructural and mechanical properties // Interceram. – 1995. – Vol. 48. P. 75-83.
8. Martín-Márquez, Rincón J.M., Romero M. Effect of microstructure on mechanical properties of porcelain stoneware // Journal of the European Ceramic Society. – 2010. – Vol. 30. – Issue 15. – P. 3063-3069.
9. Perez J.M., Romero M. Microstructure and technological properties of porcelain stoneware tiles moulded at different pressures and thicknesses // Ceramic International. – 2014. – Vol. 40. – P. 1365-1377.
10. Romero M., Perez J.M. Relation between the microstructure and technological properties of porcelain stoneware // Materiales de Construcción. – 2015. – Vol. 65. – No. 320. – P. e065.
11. Газалеева, Г.И., Особенности обогащения полевошпатового сырья сухими методами [Текст] / Г.И. Газалеева, Т.А. Бузунова, В.Н. Шигаева // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья. – 2021. – С. 25-28.
12. Гузмана, И.Я. Химическая технология керамики [Текст]: монография / ООО РИФ «Стройматериалы», 2003. – 496 с.
13. Сулименко, Л.М. Общая технология силикатов [Текст]: монография / ИНФРА, 2010. – 336 с.

*Исследования выполнены в рамках проекта BR21882181 «Разработка технологии производства высокоэффективных материалов на основе минерального сырья и техногенных отходов», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 25.08.25, принят 15.09.25.*

Б.О. Адырбаев<sup>1</sup>, А.З. Дархан<sup>1</sup>, А.С. Куртаев<sup>2</sup>,  
Б.О. Есимов<sup>1</sup>, М.Е. Курбанбаев<sup>1</sup>, Т.А. Адырбаева<sup>1</sup>, Е.С. Дубинина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>М. Әуезова атындағы Оңтүстік Қазақстан зерттеу университеті,  
Шымкент қ., Қазақстан

<sup>2</sup>«Ұлттық сараптама және сертификаттау орталығы» АҚ, Астана қ., Қазақстан

**КРЕМНИЙ ТОТЫҒЫ МОЛ БАДАМ МАССИВІ ГРАНИТІНІҢ НЕГІЗІНДЕГІ  
КЕРАМОГРАНИТТІК ДАЛА ШПАТЫ ШИКІЗАТЫНЫҢ  
КОНДИЦИЯСЫН КӨТЕРУ МҮМКІНДІГІ**

**Аңдатпа.** Заманауи керамикалық материалдар саласындағы импортты алмастыру отандық өнеркәсіптің дамуында маңызды рөл атқарады. Өндіріс тәжірибесі көрсеткендей, керамогранит бұйымдары индустриясындағы ең проблемалық аспектілердің бірі минералды құрамы мен құрылымына, жалпы синтезделген материалдың физикалық-механикалық көрсеткіштеріне айтарлықтай әсер ететін отандық дала шпаты шикізатын іздеуі және таңдауы болып тұр. Сонымен қатар, төрт компонентті керамограниттің далалық шпат компонентінің есептік үлесі әсерлі және 30-40% аралығында болады. Бұл мақалада импорттық дала шпатына балама ретінде Бадам массиві граниттерінің кондициясын одан әрі арттыру мүмкіндігін анықтау бойынша минералдық-петрографиялық және алғаш рет жүргізілген эксперименттік зерттеулердің нәтижелері қарастырылды. Бадам гранит массиві Қазақстанның оңтүстік өңіріндегі жұмыс істеп тұрған бірінші және болашақ керамогранит өндірістері үшін дала шпатының ең жақын болжамды кезі.

**Тірек сөздер:** керамогранит, минералды шикізат, дала шпаты, синтездеу, импортты алмастыру.

Б.О. Adyrbayev<sup>1</sup>, A.Z. Darhan<sup>1</sup>, A.S. Kurtaev<sup>2</sup>,  
B.O. Yessimov<sup>1</sup>, M.E. Kurbanbaev<sup>1</sup>, T.A. Adyrbayeva<sup>1</sup>, E.S. Dubinina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan

<sup>2</sup>JSC "National Center of Expertise and Certification", Astana, Kazakhstan

**THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE QUALITY OF CERAMIC GRANITE FELDSPAR RAW  
MATERIALS BASED ON HIGH-SILICA GRANITES OF THE BADAMA MASSIF**

**Abstract.** Import substitution in the field of modern ceramic materials plays an important role in the development of the domestic industry. Production practice has shown that one of the most problematic aspects in the ceramic granite industry is the search and selection of domestic feldspar raw materials, which significantly affects the mineral composition and structure, as well as the physical and mechanical properties of the synthesized material. In addition, the estimated proportion of the feldspar component in the four-component ceramic granite mass is impressive and ranges from 30-40%. This article discusses the results of mineralogical and petrographic and experimental studies conducted for the first time to determine the possibility of further improving the conditioning of granites of the Badama massif as an alternative to imported feldspar raw materials. The Badama granite massif is the closest prospective source of feldspar for the current first and future ceramic granite production facilities in the southern region of Kazakhstan.

**Keywords:** ceramic granite, mineral raw materials, feldspar, synthesis, import substitution.

---

### References

1. Esimov B.O., Seitzhanov S.S., Bitemirov M.K. *Prioritetnye stroitel'nye materialy i ikh mineral'no-syr'evoye obespecheniye* [Priority construction materials and their mineral raw material supply]: textbook. – Shymkent: South Kazakhstan State University named after M. Auezov, 2016. – 223 p. [in Russian].
2. Kulinich V.V., Sagunov V.G., Ushkenov B.S., Gulyaeva N.Ya., Beyseyev O.B., Vedernikov N.N., Antonenko A.A., Bayakunova S.Ya. *Mestorozhdeniya gornorudnogo syr'ya Kazakhstana* [Deposits of mineral raw materials of Kazakhstan]: reference book. Vol. I. – Almaty, 2000. – 372 p. [in Russian].
3. Esimov B.O., Rusnak V.V., Adyrbayeva T.A., Egorov Yu.V., Anashkin A.V., Adyrbayev B.O. *Mineral'no-syr'evye resursy Turkestanskoy oblasti dlya tsementnykh, keramicheskikh i stekol'nykh proizvodstv* [Mineral raw material resources of Turkestan region for cement, ceramic and glass industries]: monograph. – Shymkent: Alem, 2025. – 352 p. [in Russian].
4. Adyrbayev B.O. *O roli polevykh shpatov v sostave mass keramogranita* [On the role of feldspars in the composition of porcelain stoneware masses] // *Scientific Works of South Kazakhstan State University named after M. Auezov*. – 2017. – No. 4 (44). – P. 131-135. [in Russian].
5. Nori A.D. Jr., Hotza D., Soler V.C., Vilches E.S. *Influence of composition on mechanical behavior of porcelain tile. Part 1: Microstructural characterization and developed phases after firing* // *Materials Science and Engineering*. – 2010. – Vol. 527. – Issues 7-8. – P. 1730-1735.
6. Junior A.D.N., Hotza D., Soler V.C., Vilches E.S., *Influence of porcelain tile starting composition on tile microstructure and mechanical properties* // *Qualicer*. – 2008. – P. 61-73.
7. Dondi M., Ercolani G., Melandri C., Mingazzini C., Marsigli M. *The chemical composition of porcelain stoneware tiles and its influence on microstructural and mechanical properties* // *Interceram*. – 1995. – Vol. 48. P. 75-83.
8. Martín-Márquez, Rincón J.M., Romero M. *Effect of microstructure on mechanical properties of porcelain stoneware* // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2010. – Vol. 30. – Issue 15. – P. 3063-3069.
9. Perez J.M., Romero M. *Microstructure and technological properties of porcelain stoneware tiles moulded at different pressures and thicknesses* // *Ceramic International*. – 2014. – Vol. 40. – P. 1365-1377.
10. Romero M., Perez J.M. *Relation between the microstructure and technological properties of porcelain stoneware* // *Materiales de Construcción*. – 2015. – Vol. 65. – No. 320. – P. e065.
11. Gazaleeva G.I., Buzunova T.A., Shigaeva V.N. *Osobennosti obogashcheniya polevoshpatovogo syr'ya sukhimi metodami* [Features of feldspar raw material beneficiation by dry methods] // *Scientific foundations and practice of ore and technogenic raw materials processing*. – 2021. – P. 25-28. [in Russian].
12. Guzman I.Ya. *Khimicheskaya tekhnologiya keramiki* [Chemical technology of ceramics]: monograph. – LLC RIF “Building Materials”, 2003. – 496 p. [in Russian].
13. Sulimenko L.M. *Obshchaya tekhnologiya silikatov* [General technology of silicates]: monograph. – INFRA, 2010. – 336 p. [in Russian].

МРНТИ 67.09.05 : 70.17.54

И.И. Бекбасаров<sup>1</sup> - основной автор, | ©  
К.Т. Суйеншбаева<sup>2</sup>, Е.И. Атепов<sup>3</sup>, Н.А. Шаншабаев<sup>4</sup>



<sup>1</sup>Д-р техн. наук, <sup>2,4</sup>Магистр, <sup>3</sup>PhD

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3250-7853> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-4734-1091>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-2907-6610> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-4930-0488>



<sup>1,2,3,4</sup>Таразский университет им. М.Х. Дулати,



г. Тараз, Казахстан



<sup>2</sup>[guralai.toqqoja@gmail.com](mailto:guralai.toqqoja@gmail.com)

<https://doi.org/10.55956/BVXN7131>

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ОБРАЗЦЫ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО КОМПОНЕНТА КРУПНООБЛОМОЧНОГО ГРУНТА

**Аннотация.** В статье представлены результаты лабораторных исследований фильтрационных свойств мелкозернистых компонентов грунтовых смесей, используемых при устройстве земляных гидротехнических сооружений. Проведены лабораторные испытания шести групп образцов с размерами частиц до 5 мм и различным весовым содержанием фракций. Изучено влияние весового количества и размеров частиц различных фракций мелкозема на скорость и объем фильтрации воды через образцы. Показано, что зависимость понижения уровня воды от времени фильтрации является линейной и зависит от характеристик фракций мелкозема. Для крупных фракций (размером 5-2 мм и 2-1 мм) влияние на скорость фильтрации оказывает преимущественно весовое содержание, в то время как для мелких фракций (менее 1 мм) большую роль играют размеры частиц. Полученные экспериментальные зависимости могут быть использованы для оценки фильтрационной устойчивости грунтовых смесей и оптимизации их состава при проектировании земляных сооружений.

**Ключевые слова:** мелкозем, грунтовая смесь, фильтрация, фильтрационная устойчивость, весовое содержание, размер частиц, скорость фильтрации.

Бекбасаров, И.И. Результаты лабораторных исследований по изучению некоторых параметров фильтрации воды через образцы мелкозернистого компонента крупнообломочного грунта [Текст] / И.И. Бекбасаров, К.Т. Суйеншбаева, Е.А. Атепов, Н.А. Шаншабаев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.309-318. <https://doi.org/10.55956/BVXN7131>

**Введение.** Одним из распространенных грунтовых материалов, используемых для устройства земляных сооружений, является крупнообломочные грунты (природные и искусственные грунтовые смеси). Традиционно грунтовые смеси, применяемые в гидротехническом строительстве, подразделяются на крупнозернистый и мелкозернистый компоненты. Мелкозернистый компонент представляет собой часть смеси, в котором размеры твердых частиц составляют 5 мм и менее, а крупнозернистый

компонент – часть грунта, в котором размеры частиц более 5 мм. Весовое соотношение этих компонентов оказывает существенное влияние на поведение смеси как в период его укладки в тело плотины, так и в период эксплуатации. В гидротехнической сфере, при проектировании и возведении земляных сооружений особое внимание уделяется содержанию в грунтовых смесях мелкозернистого компонента (далее – мелкозема), так как от него во много зависит фильтрационная и суффозионная устойчивость сооружений и их элементов. Так Пособие [1] устанавливает следующие требования к мелкозему, при которых обеспечивается суффозионная устойчивость грунтовой смеси:

– количество мелкозёма в смеси должно составлять не менее 50% от полного объема смеси;

– плотность мелкозёма должна быть не меньше (0,92-0,95)  $\rho_{d,max}$  (где,  $\rho_{d,max}$  – максимальная плотность мелкозема в сухом состоянии). Требования к содержанию мелкозема в смесях содержатся и в работах [2-5]. Все они относятся к мелкозёму, но не распространяются на фракции, из которых он состоит. Из данных, представленных в работе [6] следует, что мелкозем включает в себя как минимум следующие четыре фракции:

– гравий (мелкий или очень мелкий) или дресву (с размерами частиц более 2 и менее 5 мм);

– песчаные (с размерами 0,05-2 мм);

– пылеватые (с размерами 0,005-0,05 мм);

– глинистые (с размерами менее 0,005 мм).

Как видно, в целом, мелкозем представляет собой многокомпонентную среду и, несомненно, что каждый компонент будет оказывать влияние на его физические и механические свойства. Так авторами в работе [7] оценено влияния содержания (по массе) различных фракций мелкозёма на его максимальную плотность и оптимальную влажность. Установлено, что для достижения наибольших значений максимальной плотности мелкозёма в сухом состоянии и его наименьших значений оптимальной влажности целесообразно содержание мелкозёма в грунтовой смеси повышать за счет содержания фракций с размерами частиц от 0,5 до 5,0 мм. Причем, чем мельче фракция и больше его количество, тем выше значения плотности мелкозёма в сухом состоянии и ниже его значения оптимальной влажности. Показано, что за счет увеличения определенной фракции можно добиться наибольшего значения плотности и наименьшего значения влажности мелкозёма при его требуемом количестве в смеси.

На современном этапе, авторами, ведутся работы по установлению особенностей влияния на фильтрационные способности мелкозема весового количества и размеров частиц фракций, содержащихся в нем. Ниже изложены результаты экспериментов, отражающие закономерности изменения уровня воды в образцах при фильтрации.

Актуальность проводимых исследований и полученных экспериментальных данных продиктована тем, что они необходимы для разработки методики подбора оптимальных состав мелкозема, при которых будет обеспечиваться требуемая фильтрационная устойчивость земляных гидротехнических сооружений.

Целью исследований является выполнение лабораторных испытаний образцов мелкозема в фильтрационном приборе (в лабораторных условиях)

для оценки влияния весового количества и размеров частиц фракций мелкозема на его водопропускную способность.

**Условия и методы исследований.** Методика и состав образцов мелкозема. Исследования проведены с применением искусственных составов грунтовых смесей, получаемых на основе неоднородного гравийного крупнообломочного грунта (масса частиц крупнее 2 мм – 53,65%) с супесчаным заполнителем (содержание глинистого заполнителя – 30,65%).

Путем дозированного отбора и добавки частиц грунта составлены шесть групп опытных образцов мелкозернистого компонента (далее – мелкозема) с размерами частиц 5 мм и менее:

– 1 группа: образцы с содержанием фракций  $m_{5-2}$ , в которых вес твердых частиц с размерами 5 мм и менее, но более 2 мм изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема;

– 2 группа: образцы с содержанием фракций  $m_{2-1}$ , в которых вес твердых частиц с размерами 2 мм и менее, но более 1 мм изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема;

– 3 группа: образцы с содержанием фракций  $m_{1-0,5}$ , в которых вес твердых частиц с размерами 1 мм и менее, но более 0,5 мм изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема;

– 4 группа: образцы с содержанием фракций  $m_{0,5-0,25}$ , в которых вес твердых частиц с размерами 0,5 мм и менее, но более 0,25 мм изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема;

– 5 группа: образцы с содержанием фракций  $m_{0,25-0,1}$ , в которых вес твердых частиц с размерами 0,25 мм и менее, но более 0,1 мм изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема;

– 6 группа: образцы с содержанием фракций  $m_{\leq 0,1}$ , в которых вес твердых частиц с размерами 0,1 мм и менее изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема.

Как видно каждая опытная фракция в образцах характеризуется определенным диапазоном изменения размеров твердых частиц и их конкретным весовым количеством в составе мелкозема. Интервал изменения весового количества фракций в составе образцов принят равным 5% от их общего веса. Увеличение весового количества каждой опытной фракции мелкозема осуществлялось за счет уменьшения весового содержания крупнозернистого компонента грунтовой смеси.

Фильтрационные свойства опытных образцов мелкозема изучались в научной лаборатории «Наноинженерные методы исследований» НАО «Таразский университет им. М.Х. Дулати» в рамках исследований, предусмотренных научно-технической программой: BR24992867. «Разработка ресурсосберегающих технологий для развития и управления водным хозяйством и перерабатывающей промышленностью Казахстана, создание инновационного инжинирингового центра».

Опыты проводились с применением компрессионного прибора, входящего в состав полевой лаборатории ПЛЛ-9 и предназначенного для определения коэффициента фильтрации пылеватых и глинистых грунтов [8].

Фильтрационные испытания выполнялись в соответствии с требованиями регламентирующих документов [8,9]. В процессе исследований устанавливались следующие характеристики образцов мелкозема: продолжительность фильтрации воды; уровень понижения воды при

фильтрации. В исследованиях испытанию подвергались 126 образцов мелкозема.

**Результаты исследований.** В процессе фильтрации, в образцах, происходит понижение уровня воды. На рисунках 1-4 в качестве примера приведены графики зависимости величины понижения уровня воды  $S$  от продолжительности фильтрации  $t_f$ , характерные для образцов, содержащих фракции  $m_{5-2}$ ,  $m_{2-1}$ ,  $m_{1-0,5}$  и  $m_{\leq 0,1}$ . Установлено, что по мере увеличения продолжительности фильтрации  $t_f$  величина понижения уровня воды  $S$  увеличивается, и зависимость  $S = f(t_f)$  представляет собой прямолинейную функцию.

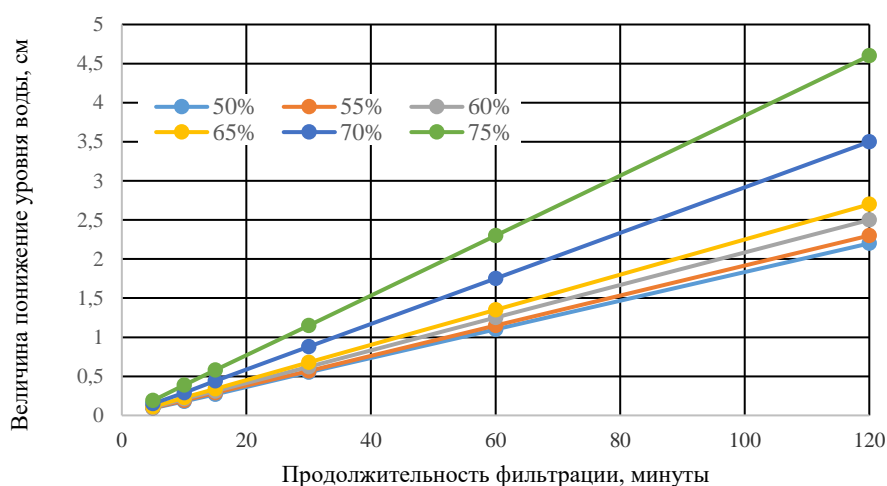


Рис.1. Зависимость величины понижения уровня воды  $S$  от продолжительности фильтрации  $t_f$  для образцов, содержащих фракций  $m_{5-2}$

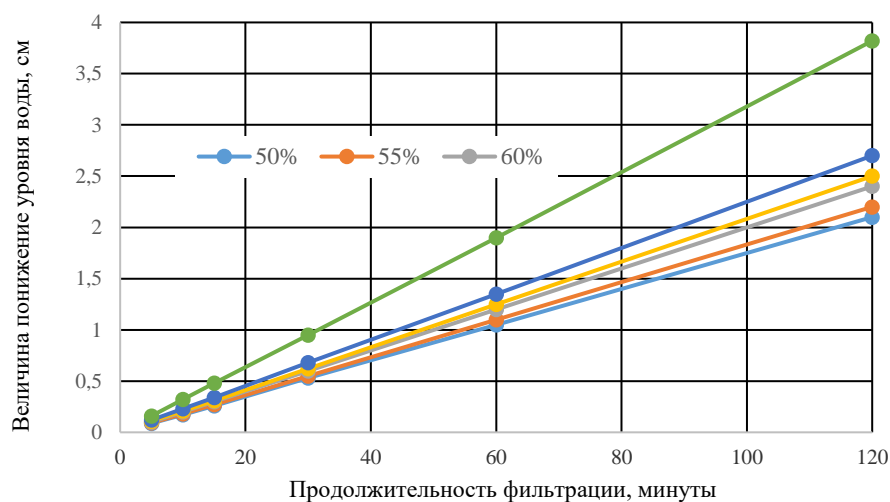


Рис. 2. Зависимость величины понижения уровня воды  $S$  от продолжительности фильтрации  $t_f$  для образцов, содержащих фракций  $m_{2-1}$

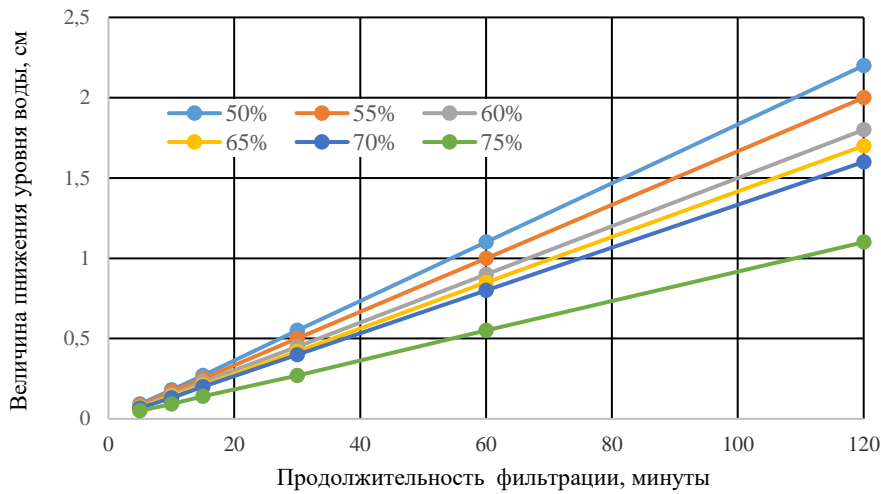


Рис. 3. Зависимость величины понижения уровня воды  $S$  от продолжительности фильтрации  $t_f$  для образцов, содержащих фракций  $m_{1-0,5}$

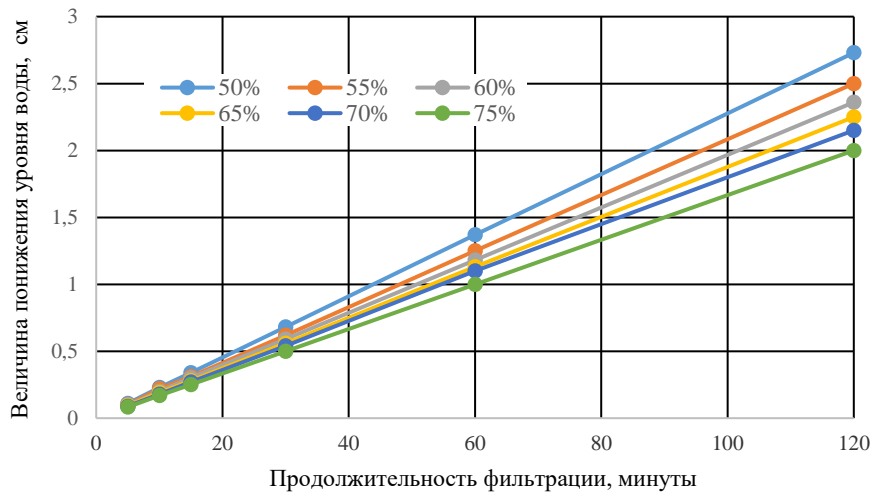


Рис. 4. Зависимость величины понижения уровня воды  $S$  от продолжительности фильтрации  $t_f$  для образцов, содержащих фракций  $m_{\leq 0,1}$

Величина понижения уровня воды  $S$  зависит также и от размеров частиц и весового количества фракций  $m_f$ . Из графиков, представленных на рисунках 5 и 6, следует, что для опытных образцов, содержащих фракции  $m_{5-2}$  и  $m_{2-1}$ , величина понижения уровня воды  $S$  в фильтрационном приборе тем больше, чем больше размеры частиц и весовое количество фракций  $m_f$  в мелкоземе. Зависимость  $S = f(m_f)$  для образцов, содержащих фракции  $m_{5-2}$  и  $m_{2-1}$ , интенсивно возрастает по мере увеличения весового количества фракций  $m_f$ , и имеет криволинейным характер. Данное обстоятельство обусловлено, тем, что с увеличением размеров частиц и весового количества крупных фракций  $m_f$  в образцах, увеличивается объем пор в мелкоземе, что и обеспечивает большее понижение уровня воды при фильтрации.

Как видно из графиков, представленных на рисунках 5 и 6, несколько иная закономерность наблюдается для образцов, содержащих

фракции  $m_{1-0,5}$ ,  $m_{0,5-0,25}$ ,  $m_{0,25-0,1}$  и  $m_{\leq 0,1}$ . Для этих образцов зависимость  $S = f(m_f)$  по мере увеличения весового количества фракций  $m_f$ , равномерно снижается, и близка к прямолинейной функции. Причем величина понижения уровня воды  $S$  тем меньше, чем меньше размеры частиц фракций. Выявленные особенности объясняются тем, что с уменьшением размеров частиц и увеличением весового количества мелких фракций в образцах, уменьшается объем пор мелкозема, что и обеспечивает малое понижение уровня воды при фильтрации.

Размеры частиц и весовое количество фракций  $m_f$  в образцах оказывает влияние и на скорость понижения уровня воды  $v_B$ , которая определяется в виде отношения  $S/t_f$ . В пределах испытания одного образца скорость  $v_B$  практически остается постоянным, но для разных образцов она неодинаковая и зависит от весового количества фракций  $m_f$  в них. Так диапазон изменения скорости  $v_B$  в опытах составил:

- 0,0184 – 0,038 см/мин в образцах, содержащих фракций  $m_{5-2}$  от 50% до 75%;
- 0,0176 – 0,032 см/мин в образцах, содержащих фракций  $m_{2-1}$  от 50% до 75%;
- 0,0183 – 0,010 см/мин в образцах, содержащих фракций  $m_{1-0,5}$  от 50% до 75%;
- 0,0204 – 0,015 см/мин в образцах, содержащих фракций  $m_{0,5-0,25}$  от 50% до 75%;
- 0,0216 – 0,0158 см/мин в образцах, содержащих фракций  $m_{0,25-0,1}$  от 50% до 75%;
- 0,0228 – 0,0166 см/мин в образцах, содержащих фракций  $m_{\leq 0,1}$  от 50% до 75%;

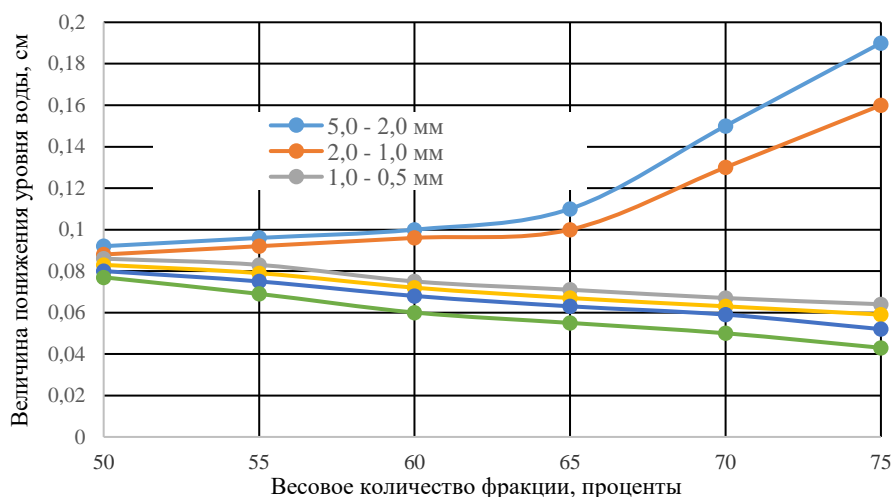


Рис. 5. Зависимость величины понижения уровня воды  $S$  от весового количества фракции  $m_f$  при продолжительности фильтрации  $t_f = 5$  мин

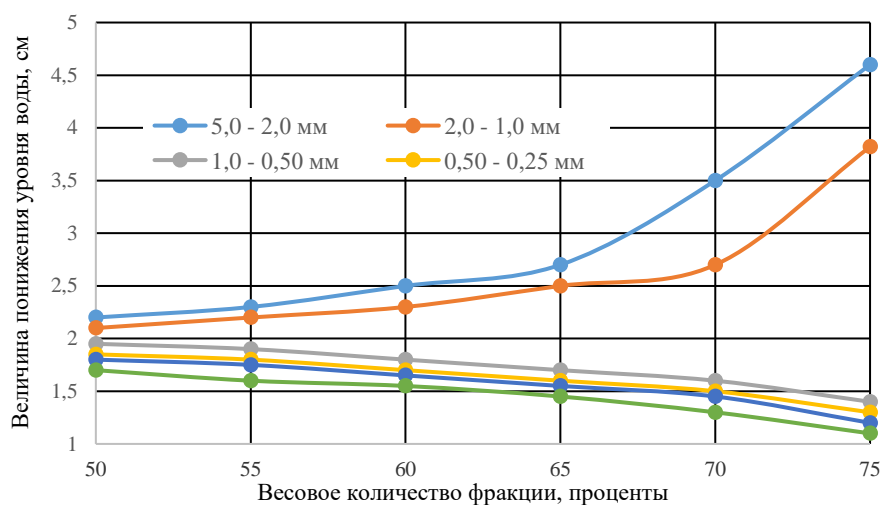


Рис. 6. Зависимость величины понижения уровня воды  $S$  от весового количества фракции  $m_f$  при продолжительности фильтрации  $t_f = 120$  мин

Из приведенных данных следует, что для образцов, содержащих фракций  $m_{5-2}$  и  $m_{2-1}$  наименьшие значения скорости  $v_b$  относятся к образцам с малым весовым количеством фракций, а наибольшие – к образцам с большим весовым количеством фракций. Так увеличение весового количества фракций  $m_{5-2}$  в 1,1-1,5 раза (от 50% до 75%) вызывает повышение скорости  $v_b$  в 1,04-2,07 раза. Для фракций  $m_{2-1}$  такое повышение скорости  $v_b$  составляет – 1,1-1,83 раза. При этом скорость  $v_b$  с уменьшением размеров частиц фракций снижается (при одинаковом весовом количестве фракций). Снижению диапазона размеров частиц фракций с 5-2 мм до 2-1 мм соответствует уменьшение скорости  $v_b$  на 4,35-15,79%. Из сравнения данных, относящихся к образцам, содержащим фракции  $m_{5-2}$  и  $m_{2-1}$ , следует, что на скорость понижения уровня воды  $v_b$  большее влияние оказывает весовое количество фракций, а меньшее – размеры частиц фракций.

Для образцов, содержащих фракций  $m_{1-0,5}$ ,  $m_{0,5-0,25}$ ,  $m_{0,25-0,1}$  и  $m_{\leq 0,1}$  наименьшие значения скорости  $v_b$  относятся к образцам с большим весовым количеством фракций, а наибольшие – к образцам с малым весовым количеством фракций. Увеличение весового количества фракций  $m_{1-0,5}$ ,  $m_{0,5-0,25}$ ,  $m_{0,25-0,1}$  и  $m_{\leq 0,1}$  в 1,1-1,5 раза приводит к уменьшению скорости  $v_b$  на 3,92-45,35%. Снижение диапазона размеров частиц фракций с 1-0,5 мм до 0,1 мм и менее (при одинаковом весовом количестве фракций) сопровождается повышением скорости  $v_b$  в 1,24-1,66 раза. Из сравнения данных, относящихся к образцам, содержащим фракции  $m_{1-0,5}$ ,  $m_{0,5-0,25}$ ,  $m_{0,25-0,1}$  и  $m_{\leq 0,1}$ , следует, что на скорость понижения уровня воды  $v_b$  меньшее влияние оказывает весовое количество фракций, а большее – размеры частиц фракций.

Из представленных результатов опытов следует, что для рассмотренных двух групп образцов, закономерности изменения скорости понижения уровня воды  $v_b$ , значительно отличаются.

**Обсуждение результатов исследований.** Зависимость  $S = f(t_f)$  может быть представлена в виде формулы (1), в которой параметры  $a$  и  $b$  зависят от весового количества и размеров частиц фракций мелкозема:

$$S = at_f - \epsilon, \quad (1)$$

При известной площади сечения образца  $F$  данная корреляционная зависимость может быть использована для установления объема воды  $V$ , профильтрованного через образец, и представлена в виде:

$$V = (at_f - \epsilon)F, \quad (2)$$

Зависимость  $S = f(m_f)$  для образцов, содержащих фракций  $m_{5-2}$  и  $m_{2-1}$ , описываются формулой (3), а для образцов, содержащих фракций  $m_{1-0,5}$ ,  $m_{0,5-0,25}$ ,  $m_{0,25-0,1}$  и  $m_{\leq 0,1}$  – формулой (4):

$$S = am_f^2 - bm_f + d, \quad (3)$$

$$S = -cm_f^2 + pm_f - g, \quad (4)$$

где:  $a, b$  и  $d$  – коэффициенты, принимаемые в зависимости от весового количества и размеров частиц фракций  $m_{5-2}$  и  $m_{2-1}$ ;  $c, p$  и  $g$  – коэффициенты, принимаемые в зависимости от весового количества и размеров частиц фракций  $m_{1-0,5}$ ,  $m_{0,5-0,25}$ ,  $m_{0,25-0,1}$  и  $m_{\leq 0,1}$ .

При известной площади сечения образца  $F$ , представленные корреляционные зависимости, могут быть использованы для установления объема воды  $V$ , профильтрованного через образец, и представлены в виде:

$$V = (am_f^2 - bm_f + d)F, \quad (5)$$

$$V = (-cm_f^2 + pm_f - g)F, \quad (6)$$

**Заключение.** Выполненные лабораторные исследования позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Величина понижения уровня воды при ее фильтрации через мелкозем зависит от продолжительности фильтрации, и эта зависимость описывается прямолинейной функцией, параметры которой изменяются в зависимости от размеров частиц и весового количества фракций, содержащихся в мелкозему;

2. Размеры частиц и весовое количество фракций в мелкоземе оказывает влияние также и на скорость понижения уровня воды при ее фильтрации. При наличии крупных фракций в мелкоземе на скорость понижения уровня воды в нем большее влияние оказывает весовое количество фракций, а меньшее – размеры частиц фракций. При мелких фракциях на скорость понижения уровня воды меньшее влияние оказывает весовое количество фракций, а большее – размеры частиц фракций;

3. Зависимости (1)-(6) могут быть использованы для приближенной оценки параметров фильтрационного процесса опытных образцов мелкозема при выполнении сравнительного анализа влияния на них весового количества и размеров фракций.

#### Список литературы

1. П-885-91. Пособие по технологии возведения плотин из грунтовых материалов к СНиП 2.06.05-84 и СНиП 3.07.01-85. – М.: ВПИНИО «Гидропроект», 1991. – 176 с.

2. Борткевич, С.В. О применении пролювиальных отложений для строительства плотин из грунтовых материалов [Текст] // Гидротехническое строительство. – М.: ЗАО НТФ «Энергопрогресс», 2018. – №9. – С.2-6.
3. Ермолаева А.Н., Рельтов Б.Ф., Радченко В.Г., Мамедов Б.А. Искусственная смесь суглинка с древесно-песчаным грунтом как материал для возведения ядра плотины [Текст] // Известия ВНИИГ. – М.: ВНИИГ, 1976. – Том 1. – С.11-16.
4. Буренкова, В.В. Назначение характеристик глинисто-щебенистых грунтов в противофильтрационных элементах грунтовых плотин // Гидротехническое строительство. – М., 1987. – №7. – С.17-21.
5. Рассказов, А.Л. Гидротехнические сооружения (речные). Учебник для вузов. [Текст] / А.Л. Рассказов, В.Г. Орехов, Н.А. Анискин [и др.] // – М.: Издательство АСВ, 2011. – часть 1.
6. Маслов, Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. [Текст] / – М.: Высшая школа, 1982. – 511 с.
7. Bekbasarov, I. On the influence of different fraction on the maximum density and optimum humidity of the fine-grained component of the ground mixture / I. Bekbasarov, K. Suienshbayeva // QazBSQA Хабаршысы. – 2023. – №1 (87). – P.173-189
8. Руководство по эксплуатации ПЛЛ.1.00.00 РЭ. Паспорт ПЛЛ.1.00.00 ПС. Лаборатория полевая ПЛЛ-9. – Санкт-Петербург: ООО «ФУТУРУМ», 2011. – 24 с.
9. ГОСТ 25584-2016. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. – М.: Стандартинформ, 2016. – 17 с.

*Исследования выполнены в рамках проекта AP25795533 на тему «Создание поликомпонентных грунтовых материалов, оптимизация их составов и разработка методов прогноза их параметров для возведения насыпных плотин», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 22.09.25, принят 27.09.25.*

**И.И. Бекбасаров<sup>1</sup>, К.Т. Суйеншбаева<sup>1</sup>, Е.И. Атенев<sup>1</sup>, Н.А. Шаншабаев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан*

## **ІРІ ТҮЙІРШІКТІ ТОПЫРАҚТЫҢ ҰСАҚ ТҮЙІРШІКТІ КОМПОНЕНТІ АРҚЫЛЫ СУДЫҢ СҮЗІЛҮДІҢ КЕЙБІР ПАРАМЕТРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ БОЙЫНША ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ НӘТИЖЕЛЕРІ**

**Аңдатпа.** Мақалада топырақтан жасалған гидротехникалық құрылыстарды салуда қолданылатын топырақ қоспаларының ұсақ түйіршікті компоненттерінің сүзілу қасиеттерін зерттелудің зертханалық нәтижелері келтірілген. Зертханалық сынақтар 5 мм дейінгі бөлшек өлшемдері бар және әртүрлі салмақтық құрамдас бөліктерден тұратын топтаманың үлгілері бойынша жүргізілді. Ұсақ түйіршікті топырақтардың әртүрлі фракцияларының бөлшек өлшемдері мен салмақтық мөлшерінің үлгілері арқылы судың сүзілу жылдамдығы мен көлеміне тигізетін әсер зерттелді. Судың деңгейі төмендеу жылдамдығы уақыт өткен сайын бірқалыпты өзгереді және ол ұсақ түйіршікті топырақ бөлшектерінің қасиеттеріне байланысты болады. Ірі фракциялар үшін фильтрация жылдамдығына негізінен олардың салмақтық мөлшері әсер етеді, ал ұсақ фракциялар үшін бөлшек өлшемдір үлкен рөл атқарады. Алынған тәжірибелік тәуелділіктерді топырақ қоспаларының фильтрациялық тұрақтылығын бағалау және топырақ бөгеттерінің құрылыстарын жобалау кезінде олардың құрамын оңтайландыру үшін қолдануға болады.

**Тірек сөздер:** ұсақ түйіршікті топырақ, топырақ қоспасы, сүзілу, сүзілу тұрақтылығы, салмақтық үлесі, бөлшектердің өлшемі, сүзілу жылдамдығы.

I. Bekbasarov<sup>1</sup>, K. Suienshbayeva<sup>1</sup>, E. Atenov<sup>1</sup>, N. Shanshabaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

**THE RESULTS OF LABORATORY STUDIES ON THE STUDY OF CERTAIN PARAMETERS OF WATER FILTRATION THROUGH SAMPLES OF A FINE-GRAINED COMPONENT OF COARSE-GRAINED SOIL**

**Abstract.** The article presents the results of laboratory studies of the filtration properties of fine-grained components of soil mixtures used in the construction of earthen hydraulic structures. Laboratory tests of six groups of samples with particle sizes up to 5 mm and different weight fraction contents were carried out. The influence of the weight amount and particle sizes of various fractions of fine earth on the rate and volume of water filtration through the samples has been studied. It is shown that the dependence of lowering the water level on the filtration time is linear and depends on the characteristics of the fine-earth fractions. For large fractions (5-2 mm m 2-1 mm in size), the filtration rate is influenced primarily by the weight content, while for small fractions (less than 1 mm), particle sizes play an important role.

**Keywords:** fine earth, soil mixture, filtering, filtration resistance, weight content, particle size, filtration rate.

**References**

1. P-885-91. Posobiye po tekhnologii vozvedeniya plotin iz gruntovykh materialov k SNIp 2.06.05-84 i SNIp 3.07.01-85 [P-885-91. Manual on the technology of constructing dams from ground materials to SNIp 2.06.05-84 and SNIp 3.07.01-85. 1991. 176 p.]. – M.: VPINIO «Gidroproyekt»[Moscow: VPINIO "Gidroproekt"], 1991. – 176 s. [in Russian]
2. Bortkevich S.V. O primenenii prolyuvial'nykh otlozheniy dlya stroitel'stva plotin iz gruntovykh materialov [On the use of proluvial deposits for the construction of dams from soil materials]// Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo [Hydrotechnical construction]. – M.: ZAO NTF "Energoprogress", 2018. – No. 9. – P.2-6. [in Russian]
3. Yermolayeva A.N., Rel'tov B.F., Radchenko V.G., Mamedov B.A. Iskusstvennaya smes' suglinka s dresvyano-peschanym gruntom kak material dlya vozvedeniya yadra plotiny [Artificial mixture of loam with gross-sand soil as a material for the construction of a dam core] // Izvestiya VNIIG. – M.: VNIIG, 1976. – Tom 1. – P.11-16. [in Russian]
4. Burenkova V.V. Naznacheniyе kharakteristik glinisto-shchebenistykh gruntov v protivofil'tratsionnykh elementakh gruntovykh plotin[Purpose of characteristics of clayey-crushed-stone soils in anti-seepage elements of earth dams] // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo [Hydrotechnical construction]. – M., 1987. – No.7. – P.17-21. [in Russian]
5. Rasskazov A.L., Orekhov V.G., Aniskin N.A. Gidrotekhnicheskiye sooruzheniya (rechnyye). Uchebnik dlya vuzov. [Hydraulic structures (river). Textbook for universities.] // – Moscow: ASV Publishing House], 2011. – Vol. 1.
6. Maslov, N.N. Osnovy inzhenernoy geologii i mekhaniki gruntov. [Fundamentals of engineering geology and soil mechanics.]/ – Moscow: Higher School, 1982. – 511 p. [in Russian]
7. Bekbasarov, I. On the influence of different fraction on the maximum density and optimum humidity of the fine-grained component of the ground mixture / I. Bekbasarov, K. Suienshbayeva // QazBSQA Хабаршысы. – 2023. – No.1 (87). – P.173-189.
8. Rukovodstvo po ekspluatatsii PLL.1.00.00 RE. Passport PLL.1.00.00 PS. Laboratoriya polevaya PLL-9 [Operation manual for PLL.1.00.00 RE. Passport for PLL.1.00.00 PS. Field laboratory PLL-9]. – Sankt-Peterburg: OOO «FUTURUM», 2011. – 24 p.
9. GOST 25584-2016. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya koeffitsiyenta fil'tratsii GOST 25584-2016. Soils. Methods for laboratory determination of filtration coefficient. – M.: Standartinform, 2016. – 17 p.

МРНТИ 67.13.25 : 70.17.29

М. Оралсынкызы<sup>1</sup> – основной автор, ©  
М.Н. Сенников<sup>2</sup>, С.К. Джолдасов<sup>3</sup>,  
Б.Ж. Манапбаев<sup>4</sup>, А.С. Мейрбекова<sup>5</sup>,  
Б.Д. Джакияев<sup>6</sup>, У.А. Отаров<sup>7</sup>, Н.Т. Егенбердиев<sup>8</sup>



<sup>1,5,6</sup>Докторант, <sup>2</sup>Д-р техн. наук, профессор,  
<sup>3,4</sup>Канд. техн. наук, ассоц. профессор

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0000-6629-6842> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-4944-2128>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-3947-1411> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-9140-178X>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0000-2998-1349> <sup>6</sup><https://orcid.org/0000-0002-2787-3820>



<sup>1,2,3,4,5,6,7,8</sup>Казахский национальный университет водного хозяйства и  
ирригации,



г. Тараз, Казахстан



<sup>1</sup>[molyu\\_aa@mail.ru](mailto:molyu_aa@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/CEIP3936>

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ И ТЕХНИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА КОКСАРАЙСКОМ КОНТРЕГУЛЯТОРЕ

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы совершенствования методики и техники проведения полевых геофизических работ на Коксарайском контррегуляторе – стратегически важном гидротехническом объекте юга Казахстана. С учетом необходимости повышения точности данных для гидрогеологических и инженерно-геофизических исследований, предложен комплексный подход, включающий оптимизацию существующих методик электрозондирования, сейсморазведки и георадарных измерений. Представлены результаты опытных полевых наблюдений, демонстрирующих эффективность модернизированных технических решений и цифровых методов обработки. Также проведена оценка влияния геофизических факторов на надежность и устойчивость конструкции контррегулятора при различных сезонных нагрузках. Предложенные меры направлены на повышение информативности исследований, снижение трудоемкости и повышение безопасности проведения полевых работ. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании, реконструкции и мониторинге аналогичных гидротехнических сооружений.

**Ключевые слова:** полевые исследования, геофизика, Коксарайский контррегулятор, сейсморазведка, инженерная геология, устойчивость плотины.



Оралсынкызы, М. Совершенствование методики и техники проведения полевых геофизических работ на Коксарайском контррегуляторе [Текст] / М. Оралсынкызы, М.Н. Сенников, С.К. Джолдасов, Б.Ж. Манапбаев, А.С. Мейрбекова, Б.Д. Джакияев, У.А. Отаров, Н.Т. Егенбердиев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.319-329. <https://doi.org/10.55956/CEIP3936>

**Введение.** Современные условия эксплуатации гидротехнических сооружений требуют высокой точности в оценке инженерно-геологических условий, особенно в условиях сложной геоморфологии и сезонных колебаний

уровня грунтовых вод. Одним из ключевых объектов, нуждающихся в регулярном инженерно-геофизическом мониторинге, является Коксарайский контррегулятор – водохозяйственный узел, играющий важную роль в регулировании стока Сырдарьи и предотвращении паводков в южных регионах Казахстана [1].

При проектировании и реконструкции подобных объектов требуется своевременное получение достоверной информации о физико-механических свойствах грунтов, возможных зонах фильтрации, трещиноватости, а также структурных нарушениях в теле плотины и прилегающих участках. В этом контексте полевые геофизические исследования становятся незаменимым инструментом инженерной диагностики. Однако, несмотря на широкое применение геофизических методов в гидротехнической практике, существующие методики требуют доработки с учетом специфики сооружений, климатических условий региона и задач устойчивости конструкции.

В период с 12.09.2024 по 31.12.2024 были выполнены геофизические исследования на участке Коксарайского контррегулятора. Цель настоящих работ заключается в исследовании технического состояния объекта, определении зон ослабления физико-механических свойств грунтов, вызванного развитием опасных инженерно-геологических процессов под действием деятельности фильтрационного водного потока.

Настоящее исследование направлено на совершенствование методических подходов и технических решений при проведении полевых геофизических работ на Коксарайском контррегуляторе. Основной акцент сделан на комплексное применение методов электротомографии (ERT), сейсморазведки и георадарного зондирования (GPR) в условиях изменчивой водонасыщенности и неоднородности геологического разреза.

Целью работы является повышение точности интерпретации геофизических данных, снижение трудозатрат на полевых этапах и обеспечение надежности мониторинга технического состояния гидросооружения.

Применение геофизических методов в инженерных изысканиях и мониторинге состояния гидротехнических сооружений активно развивается в последние десятилетия. В работах отечественных и зарубежных исследователей [1-5] подчеркивается высокая эффективность электрофизических и сейсмических методов при диагностике нарушений в теле плотин, выявлении зон фильтрации, каверн, разуплотнений и других аномалий в грунтовом массиве.

Метод электротомографии (ERT) получил широкое распространение благодаря высокой чувствительности к изменению электропроводности водонасыщенных пород. Он используется для картирования зон фильтрации и локализации слабоуплотненных участков в основании и откосах плотин [2]. Вместе с тем, высокая зависимость метода от внешних факторов (температура, степень насыщенности, солесодержание) требует дополнительной адаптации при полевых измерениях, особенно в регионах с переменным уровнем грунтовых вод, как в бассейне Коксарая.

Методы сейсморазведки, включая отражательную и преломленную волну, позволяют получать данные о глубинной структуре основания, наличии разломов и неоднородностей. С их помощью можно выявить признаки техногенного уплотнения или ослабления грунта [3]. Однако, как

показывают исследования [4], сложность интерпретации сейсмических данных в условиях слабоконтрастных сред требует комплексирования с другими методами.

Метод георадарного зондирования (GPR) особенно эффективен для изучения верхней части геологического разреза и поиска локальных аномалий, таких как трещины, включения, разрывы инженерных конструкций [5]. В сочетании с GPS-привязкой и цифровыми алгоритмами обработки, георадар обеспечивает высокое пространственное разрешение, что критически важно для инспекционных обследований.

Согласно ряду работ [6-7], наибольший эффект достигается при интеграции нескольких методов в рамках единой геоинформационной системы (ГИС), что позволяет синхронизировать результаты и формировать пространственные модели потенциально опасных участков. В случае с Коксарайским контррегулятором подобный подход особенно актуален ввиду его масштабов, сложной геологической структуры и высокой социальной значимости объекта.

Несмотря на наличие большого числа работ, систематизированные исследования, ориентированные на методическую и техническую адаптацию полевых геофизических работ к условиям Коксарайского контррегулятора, до настоящего времени ограничены. Это обуславливает необходимость разработки специализированной методики, основанной на практике и полевых испытаниях.

**Условия и методы исследований.** Электротомография методом сопротивлений (ЭТ), также известная как метод электротомографической съемки (ERT – Electrical Resistivity Tomography), представляет собой современный способ электрофизического зондирования, направленный на построение двумерного или трехмерного распределения удельного электрического сопротивления подповерхностных структур. Метод широко применяется при инженерно-геологических, гидрогеологических, экологических и геотехнических изысканиях. Метод основан на регистрации электрического потенциала, возникающего в результате пропускания электрического тока через грунт или горные породы [8,9]. Система электродов, расположенных на поверхности или в скважинах, позволяет регистрировать вариации сопротивления в зависимости от геологических и гидрогеологических свойств среды. Различные материалы (например, сухой песок, влажная глина, вода, металлические включения) обладают различной электропроводностью, что делает метод чувствительным к изменению состава, структуры и влажности пород.

Для проведения измерений используется многоэлектродная электроразведочная станция «Скала 48» и комплект специализированных электроразведочных кос, при проведении сейсморазведки методом преломленных волн использовалась многоканальная сейсморазведочная станция «Лакколит ХМ-3» и комплект специализированных кос с геофонами.

Полевые геофизические исследования проводились на территории Коксарайского контррегулятора в весенне-летний период 2024 года с целью оценки состояния основания, склонов и тела гидротехнического сооружения. В качестве основных методов были выбраны:

- электротомография (ERT) – для выявления зон фильтрации, водонасыщенности и изменения сопротивления пород;
- георадарное зондирование (GPR) – для обследования верхней части разреза и поиска трещин, пустот и техногенных включений;

– сейсморазведка методом преломленных волн (Seismic Refraction) – для изучения глубинной структуры основания и расчета скоростей распространения продольных волн [10].

*Методика работ.* Полевой этап: разметка профиля на местности и установка электродов с определенным шагом (обычно от 1 до 5 метров). Выбор электрической схемы измерений (Веннера, Шлюмберже, диполь-диполь, градиент и др.). Автоматизированный запуск измерительного цикла с использованием выбранной схемы. Регистрация измеренного потенциала и вычисление псевдосопротивлений.

Получение информации происходит путем измерения разности потенциалов  $U_{MN}$  на приемных электродах, с помощью которого вычисляется кажущееся удельное электрическое сопротивление среды [11].

$$p_k = k \frac{U_{MN}}{I_{AB}} \quad (1)$$

где:  $p_k$  – кажущееся удельное сопротивление, Ом·м;  $k$  – коэффициент установки, зависящий от геометрических параметров;  $U_{MN}$  – разность потенциалов на приемных электродах, В;  $I_{AB}$  – сила тока в цепи, А.

В условиях Коксарайского контррегулятора, метод электротомографии позволяет выявить неоднородности в основании гидротехнических сооружений, установить зоны фильтрации, определить глубину залегания водоносных горизонтов и участки потенциальных разуплотнений. Использование схемы диполь-диполь обеспечивает высокую горизонтальную чувствительность и позволяет получить детальные данные о границах инженерно-геологических слоев.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Полевые геофизические исследования, проведенные на ключевых участках Коксарайского контррегулятора, позволили получить информативные данные о состоянии основания, откосов и тела плотины. Обработка и интерпретация результатов показали высокую эффективность комплексного применения электротомографии, сейсморазведки и георадарного зондирования для решения инженерных задач.

Электротомография методом сопротивлений проводилась по двум продольным профилям, общей протяженностью два километра. Длина каждого профиля составляет один километр. Профили располагаются по гребню плотины от центрального водовыпускного канала и прилегают к парпету (рис. 1). Шаг между точками наблюдения составляет три метра.

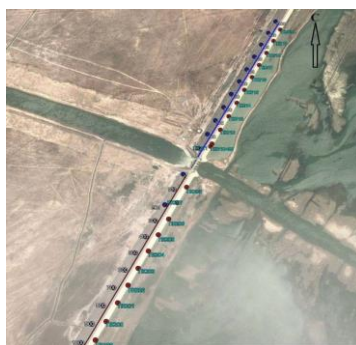


Рис.1. Схема профилей

Электротомография методом сопротивлений – метод электроразведки на постоянном токе, основанный на вертикальном электрическом зондировании геологической среды в двумерной вертикальной плоскости с целью изучения изменения удельного электрического сопротивления горных пород в литологической среде. Методика электротомографии заключается в многократных повторных измерениях сигнала в приемной линии при различном положении питающей, что обеспечивает получение информации на различных глубинных уровнях плоскости наблюдения (рис. 2).

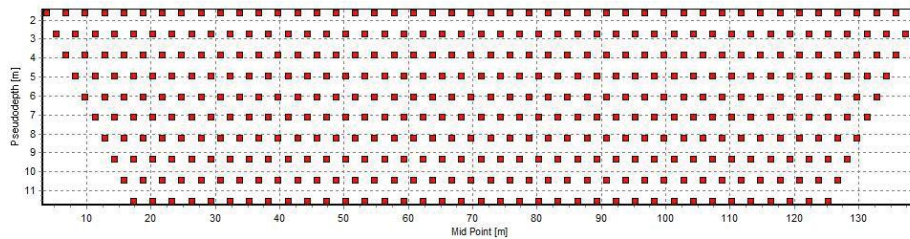
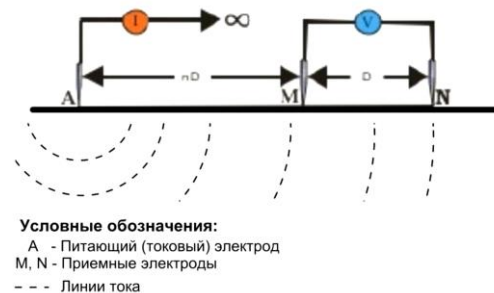


Рис.2. Схематическое изображение плоскости наблюдения

Электротомография проводилась трехэлектродной установкой полъ - диполь (рис. 3). Электроразведочная установка – это система или комбинация взаимного расположения питающих (токовых) и приемных электродов с помощью которых проводятся измерения.



Условные обозначения:  
A - Питающий (токовый) электрод  
M, N - Приемные электроды  
--- Линии тока

Рис.3. Схематическое изображение трехэлектродной установки

Трехэлектродная установка обеспечивает качественное горизонтальное покрытие и глубинность, сочетая это с помехоустойчивостью и высоким уровнем сигнала. Также трехэлектродная установка имеет большую чувствительность к горизонтальным неоднородностям. В целях повышения эффективности наблюдений, использовалось комбинирование прямой и обратной трехэлектродной установки (AMN+MNB).

Контроль качества измерений осуществлялся оператором измерительной электроразведочной станции. Качество измерений обеспечивалось путем заземления электродов электроразведочной линии. Диапазон значений электрических сопротивлений при проверке заземлений электродов составил 0-5 Ом.

Сейморазведка методом преломленных волн проводилась по двум продольным профилям общей протяженностью два километра. Длина каждого профиля составляет один километр. Профили располагаются по гребню плотины от центрального водовыпускного канала и прилегают к

парапету (рис. 4). Количество каналов составляет – сорок восемь. Шаг между пунктами приема составляет – три метра, шаг между пунктами возбуждения – шесть метров. Сейсморазведка – метод геофизики, основанный на регистрации искусственно возбуждаемых упругих волн с целью изучения изменения скорости распространения упругих волн в горных породах.

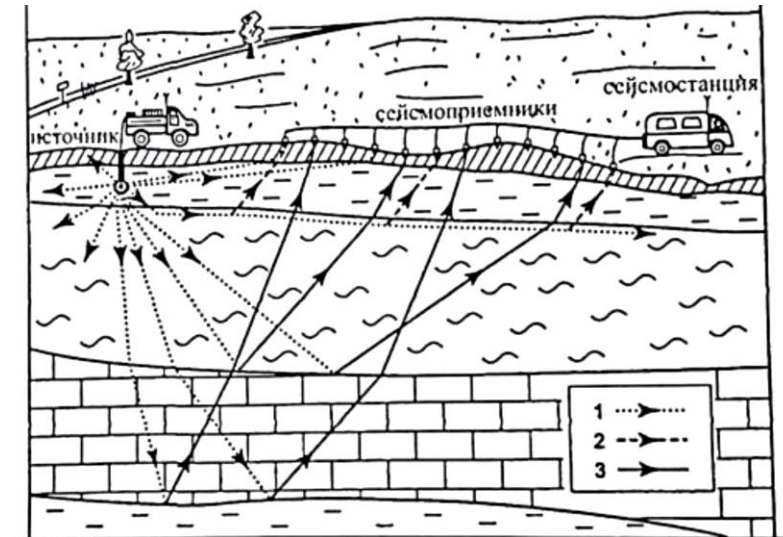


Рис.4. Принципиальная схема проведения сейсморазведки

Сейсморазведка проводилась по томографической методике, используя частый шаг пунктов возбуждения с целью получения более детальной литологической картины. Проведение сейсморазведочных работ проводилось в два этапа. Первый этап – возбуждение и регистрация продольных волн (Р-волны), второй – возбуждение и регистрация поперечных волн (S-волны). Регистрация сигнала упругих волн производилась с помощью геофонов [11-13].



Рис.5. Схема расположения пунктов возбуждения и приема

В качестве источника упругих волн использовался источник типа «падающего груза», кувалда весом восемь килограмм. Возбуждение упругих волн производилось многократными ударами кувалдой по специализированной металлической конструкции, установленной на поверхности земли в точке возбуждения. С целью подавления помех и усиления полезного сигнала количество сейсмических накоплений (ударов кувалдой) составляет семь.

На рисунке 6 представлено изображение полевой сейсмограммы, полученной в результате многократных накоплений.

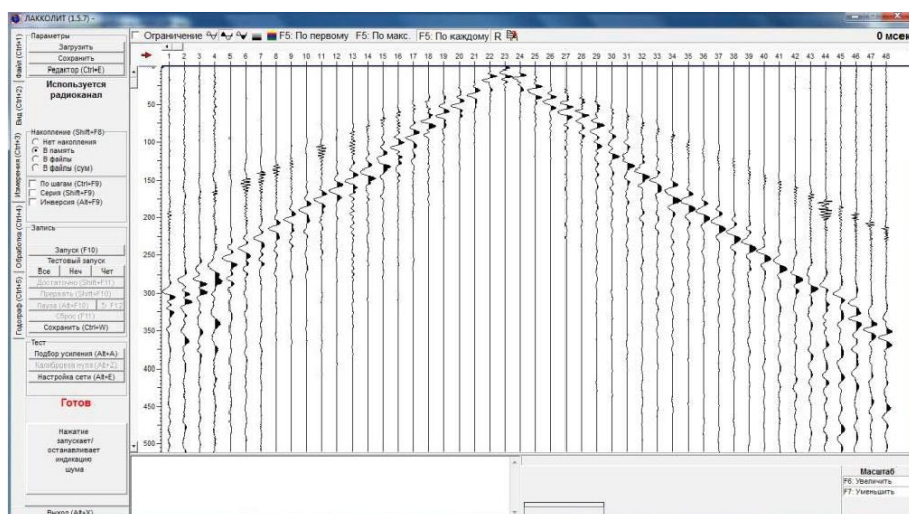


Рис.6. Полевая сейсмограмма. Р-волны

Возбуждение продольных волн (Р-волны) производилось ударом кувалдой по плоской металлической конструкции, установленной на поверхности земли в точке возбуждения. Возбуждение поперечных волн (S-волн) производилось ударом по торцам специализированной металлической конструкции под углом 45°.

Подповерхностное георадиолокационное зондирование проводилось по всему участку сооружения. Работы были проведены по четырем продольным профилям, общей протяженностью 161 000 м. Два продольных профиля располагаются по гребню сооружения, два – по берме (рис. 7). Георадиолокационные профили по берме сооружения закладывались с учетом обрыва участка бермы. Проектным техническим заданием предусмотрено 172 000 погонных м., но, в связи, с меньшей протяженностью участка бермы по сравнению с гребнем плотины, фактически было выполнено 161 000 м.



Рис.7. Схема георадиолокационных профилей

Принцип действия подповерхностного георадиолокационного зондирования основан на излучении сверхширокополосных (наносекундных) импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн и приема сигналов, отраженных от раздела слоев зондируемой литологической среды, имеющих различные электрофизические свойства.

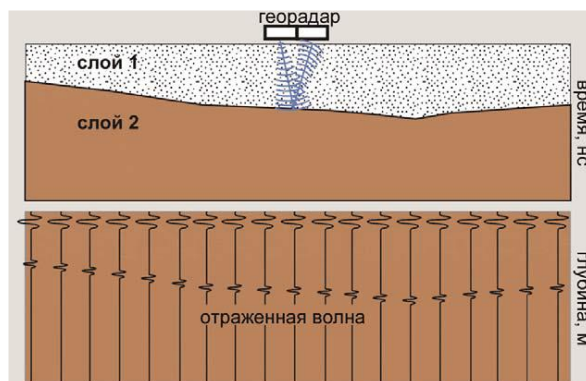


Рис.8. Принцип действия подповерхностного георадиолокационного зондирования

Результаты полевых исследований подтвердили высокую информативность выбранных методов и целесообразность их комплексного применения. Особое значение имеет гибкость методики: возможность адаптации под конкретные геологические условия и сезонные особенности Коксарайского региона. Использование ГИС-платформы обеспечило не только наглядность интерпретации, но и потенциальную интеграцию в системы постоянного мониторинга.

**Заключение.** На основе проведенных полевых геофизических исследований на Коксарайском контррегуляторе сформулированы следующие основные выводы: комплексное применение методов электротомографии (ERT), георадарного зондирования (GPR) и сейсморазведки обеспечивает высокую степень достоверности при диагностике состояния гидротехнических сооружений. Каждый из методов раскрывает отдельные аспекты инженерно-геологической картины, а их интеграция позволяет выявлять как поверхностные, так и глубинные аномалии. Электротомографические измерения выявили участки повышенной водонасыщенности и возможной фильтрации, критичные с точки зрения устойчивости плотины. Георадар подтвердил наличие неоднородностей в верхней части тела сооружения, включая микротрещины и строительные дефекты. Сейсморазведка показала пониженную скорость распространения волн в центральной части сооружения, указывая на потенциально разуплотненные участки основания, что требует особого внимания при сезонных нагрузках [14].

Привязка результатов к геоинформационной системе (QGIS) позволила визуализировать полученные данные в виде тематических карт и цифровых моделей, повысив эффективность принятия инженерных решений. Предложенная методика может быть рекомендована для регулярного мониторинга технического состояния Коксарайского контррегулятора, а также аналогичных гидротехнических объектов, включая земляные дамбы,

водохранилища и каналы. Рекомендации: внедрить ГИС-платформу с модулем периодического обновления геофизических данных в рамках системы мониторинга. Использовать полученную модель риска для планирования укрепительных и восстановительных мероприятий. Продолжить адаптацию методики для других климатических и геологических условий, в том числе при весенних паводках.

#### Список литературы

1. ГКИНП (ОНТА) 01-271-03. Руководство по созданию сетей с использованием ГЛОНАСС/GPS [Текст]. – М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 2003. – 56 с.
2. ГКИНП 02-172-83. Инструкция по производству аэрофототопографических работ при изысканиях [Текст]. – М.: Главное управление геодезии и картографии при СМ СССР, 1983. – 74 с.
3. ГКИНП 02-033-82. Инструкция по топографической съемке масштаба 1:5000–1:500 [Текст]. – М.: ГУГК при СМ СССР, 1982. – 110 с.
4. ГКИНП 02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов [Текст]. – М.: Росгеокарт, 2002. – 88 с.
5. Никитин, В.Н. Основы инженерной сейсмологии [Текст] / В.Н. Никитин. – М.: МГУ, 1981. – 176 с.
6. Жданов, М.С. Электроразведка [Текст] / М.С. Жданов. – М.: Недра, 1986. – 316 с.
7. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях [Текст]: в 2 т. / пер. с франц. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. – 312 с.
8. Интерпретация георадиолокационных данных [Текст]. – М.: МГУ, 2008. – 192 с.
9. Reynolds, J. M. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. – 2nd ed. – Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. – 710 p.
10. Butler, D. K. Near-Surface Geophysics. – Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 2005. – 750 p.
11. Амангельдиев, Б.К. Геофизические методы контроля состояния гидротехнических сооружений [Текст] / Б.К. Амангельдиев, Т.С. Жунусов. – Алматы: ҚазҰТУ, 2019. – 128 с.
12. Корнилов, С.И. Инженерно-геофизические изыскания на гидротехнических объектах [Текст] / С.И. Корнилов, А.В. Николаев // Гидротехника. – 2020. – № 5. – С. 22–27.
13. Мукашева, А.Б. Применение интегральных ГИС-моделей для оценки риска разрушения земляных плотин [Текст] / А.Б. Мукашева, Е.Ж. Бекенов // Вестник КазНИИТИГС. – 2023. – № 2. – С. 35–42.
14. Sambuelli, L., Calzoni, C., Deidda, G.P. Integrated geophysical investigations for dam monitoring // Journal of Applied Geophysics. – 2018. – Vol. 150. – P. 13–24.

*Исследования выполнены в рамках проекта BR24992867 «Разработка ресурсосберегающих технологии для развития и управления водным хозяйством и перерабатывающей промышленностью Казахстана, создание инновационного инженерингового центра», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 28.04.25, принят 26.09.25.*

М. Оралсынқызы<sup>1</sup>, М.Н. Сенников<sup>1</sup>, С.Қ. Жолдасов<sup>1</sup>, Б.Ж. Манапбаев<sup>1</sup>,  
А.С. Мейрбекова<sup>1</sup>, Б.Д. Джакияев<sup>1</sup>, У.А. Отаров<sup>1</sup>, Н.Т. Егенбердиев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті,  
Тараз қ., Қазақстан

### КӨКСАРАЙ КОНТРРЕГТЕГІШІНДЕ ДАЛАЛЫҚ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ЖҰМЫСТАРДЫ ЖҮРГІЗУ ӘДІСТЕМЕСІ МЕН ТЕХНИКАСЫН ЖЕТІЛДІРУ

**Аңдатпа.** Мақалада Қазақстанның оңтүстігіндегі стратегиялық маңызы бар гидротехникалық құрылыс болып табылатын Көксарай контррегуляторында далалық геофизикалық жұмыстарды жүргізу әдістемесі мен технологиясын жетілдіру мәселелері қарастырылған. Гидрогеологиялық және инженерлік-геофизикалық зерттеулерге арналған деректердің дәлдігін арттыру қажеттілігін ескере отырып, электрлік зондтау, сейсмикалық барлау және жерүсті радиолокациялық өлшеулердің қолданыстағы әдістерін оңтайландыруды қамтитын кешенді тәсіл ұсынылады. Жаңартылған техникалық шешімдер мен цифрлық өңдеу әдістерінің тиімділігін көрсететін тәжірибелік далалық бақылаулардың нәтижелері ұсынылған. Сондай-ақ әртүрлі маусымдық жүктемелер кезінде қарсы реттегіш конструкциясының сенімділігі мен тұрақтылығына геофизикалық факторлардың әсеріне баға берілді. Ұсынылған шаралар ғылыми зерттеулердің ақпараттық мазмұнын арттыруға, еңбек сыйымдылығын төмендетуге және далалық жұмыстардың қауіпсіздігін арттыруға бағытталған. Алынған нәтижелерді ұқсас гидротехникалық құрылыстарды жобалау, қайта құру және мониторингілеу кезінде пайдалануға болады.

**Тірек сөздер:** далалық зерттеулер, геофизика, Көксарай контррегуляторы, сейсмикалық барлау, инженерлік геология, бөгет орнықтылығы.

М. Oralsynkyzy<sup>1</sup>, M.N. Sennikov<sup>1</sup>, S.K. Joldassov<sup>1</sup>, B.J. Manapbayev<sup>1</sup>,  
A.S. Meyrbekova<sup>1</sup>, B.D. Jakiyayev<sup>1</sup>, U.A. Otarov<sup>1</sup>, N.T. Egenberdiyev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan

### IMPROVING THE METHODS AND TECHNIQUES OF FIELD GEOPHYSICAL WORK AT THE KOKSARAI COUNTERREGULATOR

**Abstract.** The article considers the issues of improving the methodology and technology of conducting field geophysical works at the Koksarai counter-regulator, a strategically important hydraulic structure in the south of Kazakhstan. Taking into account the need to increase the accuracy of data for hydrogeological and engineering-geophysical research, an integrated approach is proposed, which includes the optimization of existing methods of electrical sounding, seismic exploration and ground-based radar measurements. The results of experimental field observations are presented, demonstrating the effectiveness of updated technical solutions and digital processing methods. The influence of geophysical factors on the reliability and stability of the counter-regulator design under various seasonal loads is also assessed. The proposed measures are aimed at increasing the information content of scientific research, reducing labor intensity and increasing the safety of field work. The results obtained can be used in the design, reconstruction and monitoring of similar hydraulic structures.

**Keywords:** field research, geophysics, Koksarai counter-regulator, seismic exploration, engineering geology, dam stability.

---

### References

1. GKINP (ONTA) 01-271-03. Rukovodstvo po sozdaniyu setey s ispol'zovaniem GLONASS/GPS [Guidelines for the Creation of Networks Using GLONASS/GPS]. – Moscow: Federal Service of Geodesy and Cartography of Russia, 2003. – 56 p. [in Russian].
2. GKINP 02-172-83. Instruktsiya po proizvodstvu aerofototopograficheskikh rabot pri izyskaniyakh [Instruction on the Production of Aerial Phototopographic Works for Surveys]. – Moscow: Main Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR, 1983. – 74 p. [in Russian].
3. GKINP 02-033-82. Instruktsiya po topograficheskoy s"emke masshtaba 1:5000–1:500 [Instruction on Topographic Survey at a Scale of 1:5000–1:500]. – Moscow: Main Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR, 1982. – 110 p. [in Russian].
4. GKINP 02-036-02. Instruktsiya po fotogrammetricheskim rabotam pri sozdanii tsifrovyykh topograficheskikh kart i planov [Instruction on Photogrammetric Works for the Creation of Digital Topographic Maps and Plans]. – Moscow: Rosgeokart, 2002. – 88 p. [in Russian].
5. Nikitin V.N. Osnovy inzhenernoy seysmiki [Fundamentals of Engineering Seismology]. – Moscow: Moscow State University, 1981. – 176 p. [in Russian].
6. Zhdanov M.S. Elektrorazvedka [Electrical Prospecting]. – Moscow: Nedra, 1986. – 316 p. [in Russian].
7. Metody i tekhnika obrabotki signalov pri fizicheskikh izmereniyakh [Methods and Techniques of Signal Processing in Physical Measurements]: in 2 vols. / transl. from French. – Moscow: Mir, 1983. – Vol. 1. – 312 p. [in Russian].
8. Interpretatsiya georadiolokatsionnykh dannykh [Interpretation of Ground-Penetrating Radar Data]. – Moscow: Moscow State University, 2008. – 192 p. [in Russian].
9. Reynolds J.M. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. – 2nd ed. – Chichester: Wiley-Blackwell, 2011. – 710 p.
10. Butler D.K. Near-Surface Geophysics. – Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 2005. – 750 p.
11. Amangel'diev B.K., Zhunusov T.S. Geofizicheskie metody kontrolya sostoyaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Geophysical Methods for Monitoring the Condition of Hydraulic Structures]. – Almaty: Kazakh National Technical University, 2019. – 128 p. [in Russian].
12. Kornilov S.I., Nikolaev A.V. Inzhenerno-geofizicheskie izyskaniya na gidrotekhnicheskikh ob"yektakh [Engineering-Geophysical Surveys at Hydraulic Engineering Objects] // Hydraulic Engineering. – 2020. – No. 5. – Pp. 22–27. [in Russian].
13. Mukasheva A.B., Bekenov E.Zh. Primenenie integral'nykh GIS-modeley dlya otsenki riska razrusheniya zemlyanykh plotin [Application of Integrated GIS Models for Assessing the Risk of Earth Dam Failure] // Bulletin of KazNIITIGS. – 2023. – No. 2. – Pp. 35–42. [in Russian].
14. Sambuelli L., Calzoni C., Deidda G.P. Integrated geophysical investigations for dam monitoring // Journal of Applied Geophysics. – 2018. – Vol. 150. – Pp. 13–24.

МРНТИ 67.13.21

И.И. Бекбасаров<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
Е.И. Атенев<sup>2</sup>, Н.А. Шаншабаев<sup>3</sup><sup>1</sup>Д-р техн. наук, <sup>2</sup>PhD, <sup>3</sup>Магистр, ст. преподаватель

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3250-7853> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-2907-6610><sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-4930-0488><sup>1,2,3</sup>Таразский университет им. М.Х. Дулати

г. Тараз, Казахстан

<sup>1</sup>[ii.bekbasarov@dulaty.kz](mailto:ii.bekbasarov@dulaty.kz)<https://doi.org/10.55956/NMKV2583>

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ УВЛАЖНЕНИЯ ГРУНТА ПРИ ВЫШТАМПОВЫВАНИИ ТРАНШЕИ ПОД РОСТВЕРК МЕЖДУ СВАЯМИ

**Аннотация.** Представлены результаты исследований по разработке метода, позволяющего определить количество воды, необходимое для замачивания сухих и полусухих грунтов при их ударном уплотнении. При этом рассмотрен процесс уплотнения грунта межсвайного пространства при выштамповывании в нем траншеи под низкий монолитный ростверк ленточного однорядного свайного фундамента. Определен порядок движения воды при замачивании грунта в стесненном межсвайном пространстве. Рассмотрены два варианта задач, учитывающие возможность формирования разных форм увлажненной зоны под локальным источником замачивания. Учтены стесненные условия формирования увлажненной зоны грунта в межсвайном пространстве. На основе полученных теоретических решений выполнены сравнительные расчеты, которые позволили установить, что разница в результатах не превышает 10%. Метод рекомендован к применению с предварительным экспериментальным уточнением ряда коэффициентов, входящих в конечные формулы.

**Ключевые слова:** грунт, влажность, уплотнение, сваи, источник замачивания, увлажненная зона, уплотненная зона, траншея.



Бекбасаров, И.И. Метод определения количества воды для увлажнения грунта при выштамповывании траншеи под ростверк между сваями [Текст] / И.И. Бекбасаров, Е.И. Атенев, Н.А. Шаншабаев // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.330-341. <https://doi.org/10.55956/NMKV2583>

**Введение.** Известно, что эффективное уплотнение грунтов обеспечивается при их оптимальной или близкой к ней влажности [1]. При проектировании фундаментов на уплотняемых основаниях, сложенных сухими или полусухими грунтами, актуальным является достоверное установление количества воды, необходимое для их доувлажнения с целью доведения природной влажности до оптимальной величины. Это обусловлено тем, что именно при такой влажности обеспечивается максимальное или близкое к этому уплотнение грунтов.

В области фундаментостроения разработан и применяется ряд методов, которые используются для определения количества воды, необходимого для

замачивания грунтов. В целом, все они адаптированы применительно к поверхностному уплотнению грунтов и к устройству фундаментов, изготавливаемых в вытрамбованных котлованах [2-6]. Ниже представлен краткий анализ этих методов.

В нормативно-инструктивных документах [2-5] количество воды для увлажнения грунта при вытрамбовывании котлованов под отдельно-стоящие фундаменты, предлагается устанавливать на основе формулы, позволяющей производить расчеты с учетом следующих параметров:

- плотности грунта в сухом состоянии до его уплотнения, устанавливаемой в виде осредненной величины (в пределах толщины уплотненной зоны грунта ниже дна котлована);
- оптимальной влажности грунта, соответствующей его максимальной плотности;
- природной влажности грунта, устанавливаемой в виде осредненной величины в пределах увлажненной зоны;
- плотности воды;
- толщины уплотненной зоны грунта, которая формируется ниже дна котлована при вытрамбовывании;
- площади сечения уплотненной зоны грунта на уровне ее максимальных размеров;
- коэффициента, равного 1,2, учитывающего потери воды при увлажнении.

В основу данного метода положено решение, представленное в работе [7] и полученное для условий замачивания грунтов при их поверхностном уплотнении. Метод рекомендован для расчета количества воды, необходимого для замачивания грунтов при устройстве фундаментов в вытрамбованных котлованах (далее – ФВК) без создания уплотненного уширения (из жесткого материала) в их нижней части.

Для метода характерны следующие недостатки:

1) Увлажненная зона грунта принята весьма ограниченной и равна части уплотненной зоны, залегающей ниже дна вытрамбовываемого котлована. Причем она по форме представлена в виде призмы с высотой равной высоте уплотненной зоны ниже дна котлована. Объем увлажненной зоны установлен равным объему данной призмы, что не соответствует действительности [7,8];

2) Не учтены фактическая форма увлажненной зоны, форма уплотненной зоны грунта и их размеры. Форма указанных зон грунта не соответствует форме призмы [7-11];

3) Не учтены вид и размеры источника, с которого производится замачивание грунта (отрытый котлован в виде выемки, котлован, обвалованный насыпным грунтом или огражденный досками);

4) Расчеты выполняются исходя из оптимальной влажности грунта, тогда как в процессе замачивания грунта происходит его насыщение водой, а оптимальная влажность достигается после впитывания воды грунтом и его последующего высыхания. Влажность грунта после замачивания должна быть больше оптимальной, и только в этом случае может быть сформирована ожидаемая увлажненная зона грунта. Расчеты на основе оптимальной влажности грунта приводят к заниженному определению необходимого количества воды.

Ведомственные нормы [6] предусматривают использование двух методов. Первый метод распространяется на процесс увлажнения грунтов

при устройстве ФВК без уширения и позволяет учитывать плотность, природную и оптимальную влажность грунта, а также:

- ширину (диаметр) вытрамбовываемого котлована на уровне его среднего сечения;

- коэффициент, равный 5,652.

Второй метод, в отличие от первого метода не включает в себя ширину котлована в среднем сечении и коэффициент, равный 5,652, а вместо них содержит:

- коэффициент, равный 0,627;

- объем жесткого материала втрамбовываемого в дно котлована;

- коэффициент, принимаемый от 1,57 до 3,24, в зависимости от плотности грунта до и после уплотнения.

Для методов свойственны следующие недостатки:

1) В первом методе объем увлажненной формы грунта принят равным объему уширения, формирующегося под нижней частью котлована. Форма уширения принята в виде куба с размерами равными ширине уширения в уровне его среднего сечения. Форма увлажненной зоны грунта не соответствует форме куба и ее объем не равен объему уширения [7,8].

2) Во втором методе объем увлажненной зоны принят равным объему жесткого материала втрамбовываемого в дно котлована, хотя он должен быть больше как объема жесткого материала, так и объема уплотненной зоны грунта;

3) Для обоих методов, увлажненная зона грунта принята ограничено малой и равной либо объему уширения (первый метод) либо объему материала из которого он формируется (второй метод), что ведет к заниженному определению требуемого количества воды;

Кроме того, рассмотренные методы содержат в себе недостатки, указанные в позициях 2-4, относящиеся к методу, описанному в [2-5].

В работах [12-14] приведены методы, исключающие недостатки вышеуказанных методов. Методы разработаны для условий увлажнения грунта со дна точечного и линейного источников при устройстве ФВК. Эти методы позволяют определять количество воды, необходимое для замачивания грунта с учетом следующих факторов:

1) вида и размеров источников увлажнения грунтов;

2) особенностей формирования увлажненной зоны грунта под источниками замачивания;

3) показателей плотностно-влажностного состояния грунтов до и после увлажнения;

4) размеров вытрамбовываемых котлованов, а также размеров и формы уплотненных зон, которые формируются вокруг них при их подготовке.

Несмотря на глубокую научную обоснованность и достоверность результатов, получаемых по указанным методам, они не могут быть использованы для случая, когда уплотнению подвергается грунт, расположенный в верхней части толщи между сваями ленточного свайного фундамента. Это вызвано тем, что уплотнение межсвайного грунта путем выштамповывания в нем траншеи под ростверк, производится в крайне стесненных условиях и при наличии уплотненных зон вокруг забитых свай фундамента, что оказывает существенное влияние как на форму, так и на размеры увлажненной зоны грунта межсвайного пространства при замачивании.

**Материалы и методы исследований.** Учитывая, представленные обстоятельства, в настоящей работе представлен метод, который разработан

для условий уплотнения грунта межсвайного пространства ленточного однорядного свайного фундамента. При этом учитывается, что грунт между сваями уплотняется путем выштамповывания в нем траншеи под ростверк. При создании метода использованы известные математические приемы решения инженерных задач и результаты критического анализа ключевых положений существующих методов, близких по тематике исследуемой проблемы.

При разработке метода приняты следующие основные предпосылки:

- свайный фундамент представляет собой ленточный фундамент с однорядным расположением свай с расстоянием между сваями в осях 3-6d (размер поперечного сечения сваи);

- в межсвайном пространстве выштамповывается траншея под монолитный ростверк с формированием сложной уплотненной зоны;

- уплотненная зона, которая формируется вокруг сваи при ее забивке, обладает грушевидной формой, верхняя часть которой близка к цилиндрической форме, а нижняя часть (у остря) – к форме сферы [15-17];

- в верхней части свай границы их уплотненных зон не пересекаются, и за пределами этих зон плотность и влажность грунта близки к природным характеристикам [15-17];

- замачивание грунта водой межсвайного пространства осуществляется с поверхности площадки со дна открытого котлована прямоугольной формы;

- в продольном сечении форма увлажненной зоны грунта межсвайного пространства имеет сложную форму;

- в поперечном сечении форма увлажненной зоны грунта в середине межсвайного пространства близка к форме усеченного эллипса;

- наибольшие размеры увлажненной зоны межсвайного грунта превышают размеры уплотненных зон, которые формируются вокруг траншеи после ее выштамповывания.

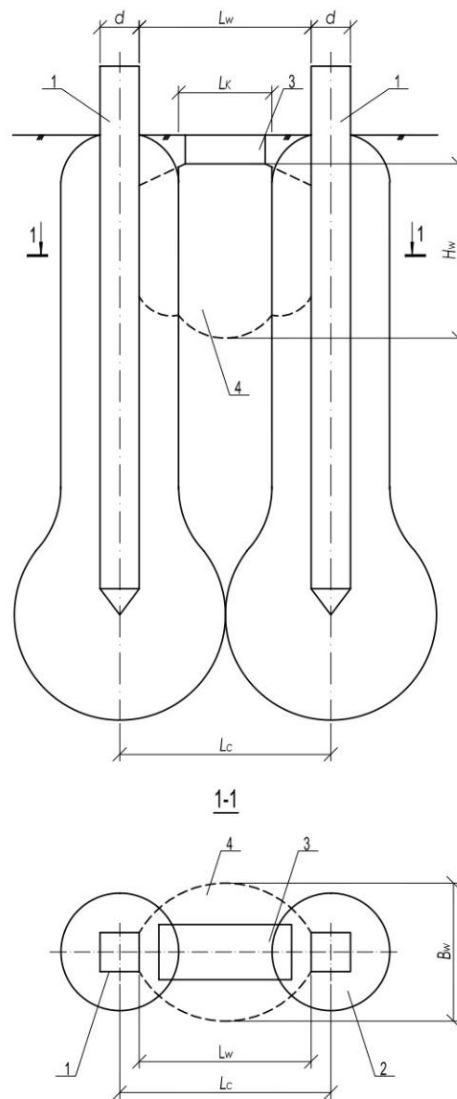
Исходя из известных закономерностей формирования увлажненных зон грунтов для межсвайного грунта, принят следующий порядок движения воды и формирования в нем соответствующей увлажненной зоны [7,8,14] (рис. 1 и 2):

- 1) Вода из источника растекается, в сторону к свае, наклонно, до достижения ее боковой грани. Линии движения воды наклонны к боковой грани сваи;

- 2) Вдоль боковой грани сваи вода (на контактном участке) перемещается вниз вертикально, по щели, образовавшейся между грунтовой толщей и поверхностью сваи при забивке. Линии движения воды в межсвайном пространстве параллельны боковой грани сваи;

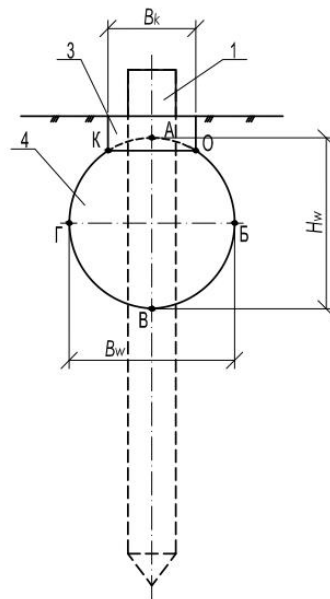
- 3) Достигнув определенной глубины, вода стекает в сторону центра межсвайного пространства, расположенной между границами уплотненных зон свай. Вертикальные линии движения воды на этой глубине изгибаются, и граница растекания воды (в пределах уплотненной зоны сваи) формируется в виде криволинейно выпуклой плоскости;

- 4) За границей уплотненной зоны сваи растекание воды происходит более интенсивно, в виду того, что плотность грунта между уплотненными зонами свай, ниже, чем его плотность в пределах уплотненных зон свай. На этом участке увлажненной зоны межсвайного грунта линии движения воды существенно изгибаются, и граница растекания воды формируется в виде закругленной криволинейной плоскости.



1 – свая; 2 – уплотненная зона; 3 – источник замачивания; 4 – увлажненная зона.

Рис. 1. Схема к определению формы и размеров увлажненной зоны межсвайного грунта в продольном сечении



1 – свая; 2 – уплотненная зона; 3 – источник замачивания; 4 – увлажненная зона.

Рис. 2. Схема к определению формы и размеров увлажненной зоны межсвайного грунта в поперечном сечении

**Результаты исследований.** В качестве исходной формулы для определения требуемого количества воды  $V$  принята формула (1), предложенная Бекбасаровым И.И. в работах [12-14].

$$V = k_w \left[ \frac{\rho_d (W_y - W)}{\rho_w} \right] V_w, \quad (1)$$

где:  $k_w$  - коэффициент, учитывающий потери воды при увлажнении грунта, равный 1,1-1,2;  $\rho_d$  - осредненная величина плотности грунта в сухом состоянии в пределах увлажненной зоны (до замачивания грунта);  $W_y$  - осредненная величина влажности грунта в пределах увлажненной зоны после замачивания;  $W$  - то же до замачивания грунта водой;  $\rho_w$  - плотность воды;  $V_w$  - объем увлажненной зоны грунта.

В формуле (1), влажность  $W_y$ , в соответствии с рекомендациями, представленными в работе [13] можно принять за влажность, которая соответствует значению степени влажности  $S_r$ , равной (0,8÷0,9). С учетом этого влажность  $W_y$  может быть определена по следующей формуле [1]

$$W_y = (0,8 \div 0,9) e \rho_w / \rho_s, \quad (2)$$

где:  $e$  - осредненная величина коэффициента пористости грунта в пределах увлажненной зоны до замачивания;  $\rho_s$  - плотность твердых частиц грунта.

Формула (1) достаточна универсальная и может быть успешно использована для большинства случаев увлажнения грунтов при правильном назначении параметров, входящих в ее состав. Особенно это касается объема увлажненной воды, форма и размеры которой зависят от ряда факторов.

Рассмотрим пути определения объема увлажненной зоны межсвайного грунта.

Из рисунков 1 и 2 следует, что форма увлажненной зоны, которая формируется при замачивании грунта межсвайного пространства, имеет сложный вид. Поэтому для разработки метода принимаем два разных упрощенных варианта формы увлажненной зоны межсвайного грунта.

В первом варианте увлажненная зона, представляет собой форму прямоугольной призмы со следующими размерами:  $L_w$  - длиной увлажненной зоны, равной расстоянию между боковыми гранями свай;  $B_w$  - шириной увлажненной зоны;  $H_w$  - высотой увлажненной зоны. Во втором варианте форма увлажненной зоны принимается также в виде призмы, но с иными геометрическими характеристиками, а именно: высотой, равной длине увлажненной зоны  $L_w$ ; формой поперечного сечения, равной форме усеченного эллипса в средней части призмы.

**Первый вариант.** Объем увлажненной зоны межсвайного грунта можно определить по следующей формуле:

$$V_w = \mu V_p = \mu(L_w \cdot B_w \cdot H_w) = \mu[B_w \cdot H_w (L_c - d)], \quad (3)$$

где:  $\mu$  - коэффициент, равный отношению  $V_p/V_{wf}$ ;  $V_p$  - объем прямоугольной призмы;  $V_{wf}$  - фактический объем увлажненной зоны;  $L_c$  - расстояние между сваями в осях;  $d$  - размер поперечного сечения свай.

В формуле (3) размеры увлажненной зоны должны соответствовать следующим условиям:

$$H_w/(h_t + h_u) > 1,0 \quad (4)$$

$$B_w/D_u > 1,0 \quad (5)$$

где:  $h_t$  - высота выштампованной траншеи;  $h_u$  - толщина уплотненной зоны грунта ниже дна траншеи;  $D_u$  - ширина уплотненной зоны грунта.

Отношения (4) и (5) можно представить в виде выражений, в которых коэффициенты  $\delta_1$  и  $\delta_2$  принимаются больше 1,0.

$$H_w/(h_t + h_u) = \delta_1, \quad (6)$$

$$B_w/D_u = \delta_2, \quad (7)$$

Определяя параметры  $H_w$  и  $B_w$  из равенств (6) и (7), формулу (3) по определению объема увлажненной зоны межсвайного грунта можно записать в виде

$$V_w = \mu\{(D_u \delta_2) \cdot [(h_t + h_u) \delta_1] \cdot (L_c - d)\}, \quad (8)$$

**Второй вариант.** Формулу по определению объема увлажненной зоны межсвайного грунта можно представить в виде следующего выражения:

$$V_w = \tau V_{pэ} = \tau L_w A_{uэ} = \tau L_w (A_э - A_{сэ}), \quad (9)$$

где:  $\tau$  - коэффициент, равный отношению  $V_{pэ}/V_{wf}$ ;  $V_{pэ}$  - объем призмы;  $V_{wf}$  - фактический объем увлажненной зоны;  $A_э$  - площадь эллипса АБВГ (рис.2);  $A_{сэ}$  - площадь сектора ОАК (рис.2).

В формуле (9) площадь  $A_э$  определяется по формуле (10), а площадь  $A_{сэ}$  - формуле (11).

$$A_э = 0,25 \pi (H_w + h_{сэ})B_w, \quad (10)$$

$$A_{сэ} = 0,25(H_w + h_{сэ})B_w \arccos \left\{ \frac{[0,5(H_w + h_{сэ}) - h_{сэ}]}{0,5(H_w + h_{сэ})} \right\} - \{ [0,5(H_w + h_{сэ}) - h_{сэ}] 0,5B_k \}, \quad (11)$$

где:  $h_{сэ}$  - высота сектора ОАК;  $B_k$  - ширина источника замачивания.

Принимая  $0,5(H_w + h_{сэ}) = a$  формулы (10) и (11) для удобства расчетов можно упрощенно записать в виде следующих выражений:

$$A_э = 0,5\pi a B_w, \quad (12)$$

$$A_{сэ} = 0,5 a B_w \arccos[(a - h_{сэ})/a] - 0,5 B_k(a - h_{сэ}), \quad (13)$$

С учетом формул (12) и (13) формула (9) может быть представлена в виде следующего выражения:

$$V_w = \tau L_w 0,5 \{ (\pi a B_w) - a B_w \arccos[(a - h_{сэ})/a] + B_k(a - h_{сэ}) \}, \quad (14)$$

Формулы (8) и (14) в представленном виде могут быть использованы для расчета количества воды, необходимого для увлажнения межсвайного грунта.

**Обсуждение результатов исследований.** Для сравнительной оценки полученных решений выполнены соответствующие расчеты. Исходные данные для расчетов приведены в таблице 1. Значения коэффициентов  $\delta_1$  и  $\delta_2$  приняты равными 1,2, а значения коэффициентов  $\mu$  и  $\tau$  - равными 0,8. Показатели межсвайного (глинистого) грунта в формулах (1) и (2) приняты равными:

- влажность  $W = 12\%$ ;
- плотность в сухом состоянии  $\rho_d = 1,53 \text{ т/м}^3$ ;
- коэффициент пористости  $e = 0,86$ ;
- плотность твердых частиц  $\rho_s = 2,72 \text{ т/м}^3$ .

Влажность  $W_v$ , рассчитанная по формуле (2), равна 25,3% при степени влажности  $S_r = 0,8$ .

Таблица 1

Исходные данные для расчетов по формулам (8) и (14)

Параметры	Значения параметров, см, для расчетных примеров		
	№1	№2	№3
$d$	30	30	30
$L_c$	180	180	180
$h_t$	40	60	80
$B_k$	50	50	50

$D_u$	45	45	45
$h_u$	60	90	120

Результаты расчетов по определению объема увлажненной зоны и объема воды, необходимой для увлажнения межсвайного грунта представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов по формулам (1), (8) и (14)

Формула	Объем увлажненной зоны $V_w$ , м <sup>3</sup> , для расчетных примеров			Объем воды $V$ , л, по формуле (1)		
	№1	№2	№3	№1	№2	№3
Формула (8)	0,778	1,167	1,555	189,98	284,75	379,42
Формула (14)	0,704	1,055	1,407	171,78	257,42	343,31

Из таблицы 2 следует, что объем увлажненной зоны  $V_w$ , установленный по формуле (8) на 9,5-9,6% превышает аналогичный параметр, рассчитанный по формуле (14). Такая же разница имеет место в значениях объема воды, определенных по формуле (1) с использованием соответствующих параметров.

**Заключение.** Результаты выполненных исследований позволяют сформулировать следующие выводы:

- формула (1) в комплексе с формулами (2), (8) и (14) может быть использована для предварительного расчета количества воды, необходимого для доувлажнения межсвайного грунта, уплотняемого путем выштамповывания в нем траншеи под ростверк;

- значения коэффициентов  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\mu$  и  $\tau$ , а также форму увлажненной зоны межсвайного грунта следует уточнять по результатам экспериментальных исследований.

#### Список литературы

1. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст]. – М.: Стройиздат, 1985. – 479 с.
2. Руководство по проектированию и устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах [Текст]. – М.: Стройиздат, 1981. - 56 с.
3. ВСН 48-88. Обязательные технологии устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах [Текст]. - Алма-Ата: НПО «Союзспецфундаменттяжстрой», 1988. - 53 с.
4. РСН КазССР 57-90. Проектирование и устройство фундаментов в вытрамбованных котлованах для сейсмостойких зданий [Текст]. - Алма-Ата: КазЦНТИС Госстроя КазССР, 1990. - 29 с.
5. РСН 40-85. Фундаменты в вытрамбованных котлованах и в пробитых скважинах [Текст]. – Кишинев: Госстрой Молдавской ССР, 1985. - 42 с.
6. ВСН 67-257-87. Руководство по устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах с использованием навесного оборудования УВ-1, УВК-40А, ОВК-100 [Текст]. - Уфа: Уфимский НИИПромстрой, 1987. - 66 с.
7. Крутов, В.И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах [Текст] / В.И. Крутов. – Киев: Будівельник, 1982. – 224 с.
8. Рабинович, И.Г. Формирование увлажненных зон в лессовых просадочных грунтах под источником замачивания [Текст] / И.Г. Рабинович // Труды НИИОСП им. Н.М. Герсевича / Расчет и проектирование оснований и подземных сооружений. – М., 1980. - Вып. 70. - С. 32-45.

9. Власов, Ю.В. Распределение послойных перемещений неоднородного грунта под жестким штампом в вытрамбованном котловане [Текст] / Ю.В. Власов // Сборник научных трудов СибЗНИИЭП Госгражданстроя / Возведение фундаментов на просадочных грунтах Сибири методом вытрамбовывания. - Новосибирск, 1976. - №14. - С. 5-14.
10. Бекбасаров, И.И. Применение метода пенетрационных испытаний для определения формы и размеров уплотненной зоны грунтов, при вытрамбовывании в них котлованов [Текст] / И.И. Бекбасаров // Вестник ТарГУ им. М.Х.Дулати / Природопользование и проблемы антропосферы. - Тараз, 2001. - №4 (4). - С. 209-213.
11. Бекбасаров, И.И. Об определении оптимальных величин угла заострения трамбовки на крупномасштабных моделях [Текст] / И.И. Бекбасаров // Сборник научных трудов ППС ТарГУ им. М.Х. Дулати. - Тараз, 1998. - Выпуск 1. - С. 377-379.
12. Бекбасаров, И.И. О решении задачи по определению объема воды, необходимого для замачивания просадочного грунта при устройстве отдельно стоящих фундаментов в вытрамбованных котлованах [Текст] / И.И. Бекбасаров // Доклады Всесоюзной конференции совместно с 8-ой научной сессией Дальневосточной секции МСССС. - Владивосток, 1991. - Часть 3. - С. 117-127.
13. Бекбасаров, И.И. Определение объема воды, необходимого для доувлажнения грунта, из «точечного источника» при вытрамбовывании котлованов неглубокого заложения [Текст] / И.И. Бекбасаров // Труды КарГТУ. - Караганда, 2004. - №4 (17). - С. 81-84.
14. Бекбасаров, И.И. Основы рационального вытрамбовывания котлованов под фундаменты [Текст]: монография / И.И. Бекбасаров. - Тараз: Издательство «Тараз университеті», 2011. - 155 с.
15. Новожилов, Г.Ф. Особенности деформации различных глинистых грунтов около забивных свай [Текст] / Г.Ф. Новожилов // Сборник докладов и сообщений по свайным фундаментам. - М.: Стройиздат, 1968. - С.49-57.
16. Готман, А.Л. К вопросу определения зоны уплотнения около свайного фундамента [Текст] / А.Л. Готман // Сборник научных трудов / Механизмы и приборы для разработки грунтов. - Уфа: Уфимский НИИпромстрой, 1987. - С.31-39.
17. Селиверстов, А.Н. Исследование деформаций глинистых грунтов около забивных свай [Текст] / А.Н. Селиверстов, М.А. Селиверстов // Сборник научных трудов. - Пермь: Пермский сельскохозяйственный институт, 1997. - С.59-65.

*Исследования выполнены в рамках проекта AP26197175 на тему «Разработка технологии производства работ по устройству ленточных свайных фундаментов с ростверками в выштампованных траншеях», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.*

*Материал поступил в редакцию 23.09.25, принят 30.09.25.*

**И.И. Бекбасаров<sup>1</sup>, Е.И. Атепов<sup>1</sup>, Н.А. Шаншабаев<sup>1</sup>**

<sup>1,2,3</sup>*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан*

#### **ҚАДАЛАР АРАСЫНДАҒЫ РОСТВЕРК АСТЫНДАҒЫ ТРАНШЕЯНЫ ШТАМПАУ КЕЗІНДЕ ТОПЫРАҚТЫ ЫЛҒАЛДАНДЫРУ ҮШІН СУДЫҢ МӨЛШЕРІН АНЫҚТАУ ӘДІСІ**

**Аңдатпа.** Құрғақ және жартылай құрғақ топырақты соққылай тығыздау кезінде ылғалдау үшін қажетті су мөлшерін анықтауға мүмкіндік беретін әдісті әзірлеу жөнінде зерттеу нәтижелері ұсынылған. Бұл жағдайда траншеяны төмен монолитті

таспалы бір қатарлы қадалар іргетасының астына штамптау кезінде қадааралық кеңістіктің топырағын тығыздау процесі қарастырылған. Топырақты тар кеңістікте тығыздау кезінде судың қозғалу тәртібі анықталды. Жергілікті сулау көзі астында ылғалданған аймақтың әртүрлі формаларын қалыптастыру мүмкіндігін ескеретін екі нұсқа қарастырылды. Қадааралық кеңістікте ылғалданған топырақ аймағын қалыптастырудың тар жағдайлары ескерілді. Алынған теориялық шешімдердің негізінде салыстырмалы есептеулер жүргізілді, бұл нәтижелердегі айырмашылық 10% - дан аспайтынын анықтауға мүмкіндік берді. Әдіс соңғы формулаларға кіретін бірқатар коэффициенттерді алдын-ала эксперименттік нақтылаумен қолдануға ұсынылады.

**Тірек сөздер:** топырақ, ылғалдылық, тығыздау, қадалар, ылғалдау көзі, ылғалданған аймақ, тығыздалған аймақ, траншея.

I.I. Bekbasarov<sup>1</sup>, Y.I. Atenov<sup>1</sup>, N.A. Shanshabaev<sup>1</sup>

<sup>1,2,3</sup>*M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan*

#### A METHOD FOR DETERMINING THE AMOUNT OF WATER TO MOISTEN THE SOIL WHEN STAMPING A TRENCH UNDER A GRILLAGE BETWEEN PILES

**Abstract.** The results of research on the development of a method for determining the amount of water required for soaking dry and semi-dry soils during their impact compaction are presented. At the same time, the process of compacting the soil of the inter-pile space when stamping a trench in it under a low monolithic grillage of a single-row pile foundation is considered. The order of water movement during soil soaking in a cramped pile space has been determined. Two variants of tasks are considered, taking into account the possibility of forming different forms of a moistened zone under a local soaking source. The cramped conditions for the formation of a moistened soil zone in the inter-pile space are taken into account. Based on the theoretical solutions obtained, comparative calculations were performed, which allowed us to establish that the difference in results does not exceed 10%. The method is recommended for use with a preliminary experimental refinement of a number of coefficients included in the final formulas.

**Keywords:** soil, humidity, compaction, piles, soaking source, moistened area, compacted area, trench.

#### References

1. Designer's Handbook. Foundations, Bases, and Underground Structures. Moscow: Stroyizdat, 1985. 479 p. [in Russian].
2. Guide to the Design and Construction of Foundations in Rammed Pits. Moscow: Stroyizdat, 1981. 56 p. [in Russian].
3. VSN 48-88. Mandatory Technologies for the Construction of Foundations in Rammed Pits. Alma-Ata: NPO Soyuzspetsfundamenttyzhstroy, 1988. 53 p. [in Russian].
4. RSN KazSSR 57-90. Design and Construction of Foundations in Rammed Pits for Earthquake-Resistant Buildings. - Alma-Ata: KazTsNTIS Gosstroy KazSSR, 1990. - 29 p. [in Russian].
5. RSN 40-85. Foundations in rammed pits and in drilled boreholes. - Chisinau: Gosstroy of the Moldavian SSR, 1985. - 42 p. [in Russian].
6. VSN 67-257-87. Guide to the device of foundations in rammed pits using attached equipment UV-1, UVK-40A, OVK-100. - Ufa: Ufa Research Institute of Industrial Construction, 1987. - 66 p. [in Russian].
7. Krutov V.I. Osnovaniya i fundamenty na prosadochnykh gruntakh [Foundations and foundations on subsidence soils]. - Kyiv: Budivel'nik, 1982. - 224 p. [in Russian].

8. Rabinovich I.G. Formirovaniye uvlazhnennykh zon v lessovykh prosadochnykh gruntakh pod istochnikom zamachivaniya [Formation of moistened zones in loess subsidence soils under a soaking source] // Proceedings of the N.M. Gersevanov Research Institute of Structures and Equipment / Calculation and design of foundations and underground structures. - Moscow, 1980. - Issue 70. - P. 32-45. [in Russian].
9. Vlasov Yu.V. Raspredeleniye posloynnykh peremeshcheniy neodnorodnogo grunta pod zhestkim shtampom v vytrambovannom kotlovane [Distribution of layer-by-layer displacements of heterogeneous soil under a rigid stamp in a rammed pit] // Collection of scientific papers of the SibZNIIEP Gosgrazhdanstroy / Construction of foundations on subsidence soils of Siberia by the ramming method. - Novosibirsk, 1976. - No. 14. - P. 5-14. [in Russian].
10. Bekbasarov I.I. Primeneniye metoda penetratsionnykh ispytaniy dlya opredeleniya formy i razmerov uplotnennoy zony gruntov, pri vytrambovyvanii v nikh kotlovanov [Application of the penetration test method to determine the shape and size of the compacted zone of soils during ramming of trenches in them] // Bulletin of the TarSU named after M.Kh. Dulaty / Nature management and problems of the anthroposphere. - Taraz, 2001. - No. 4 (4). - P. 209-213. [in Russian].
11. Bekbasarov I.I. Ob opredelenii optimal'nykh velichin ugla zaostreniya trambovki na krupnomasshtabnykh modelyakh [On determining the optimal values of the rammer taper angle on large-scale models] // Collection of scientific papers of the teaching staff of the TarSU named after M.Kh. Dulati. - Taraz, 1998. - Issue 1. - P. 377-379. [in Russian].
12. Bekbasarov I.I. O reshenii zadachi po opredeleniyu ob'yema vody, neobkhodimogo dlya zamachivaniya prosadochnogo grunta pri ustroystve otdel'no stoyashchikh fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh [On the solution of the problem of determining the volume of water required for soaking subsidence soil during the construction of detached foundations in rammed trenches] // Reports of the All-Union Conference jointly with the 8th scientific session of the Far Eastern Section of the International Union of Soil Conservation of the USSR. - Vladivostok, 1991. - Part 3. - P. 117-127. [in Russian].
13. Bekbasarov I.I. Opredeleniye ob'yema vody, neobkhodimogo dlya douvlazhneniya grunta, iz «tochechnogo istochnika» pri vytrambovyvanii kotlovanov neglubokogo zalozheniya [Determination of the volume of water required for additional soil moistening from a "point source" during ramming of shallow trenches] // Transactions of KarSTU. - Karaganda, 2004. - No. 4 (17). - P. 81-84. [in Russian].
14. Bekbasarov I.I. Osnovy ratsional'nogo vytrabovyvaniya kotlovanov pod fundamente [Fundamentals of Rational Excavation of Foundation Pits]: monograph. – Taraz: Taraz University Publishing House, 2011. - 155 p. [in Russian].
15. Novozhilov G.F. Osobennosti deformatsii razlichnykh glinistykh gruntov okolo zabivnykh svay [Features of Deformation of Various Clayey Soils near Driven Piles] // Collection of Reports and Communications on Pile Foundations. – Moscow: Stroyizdat, 1968. – P. 49-57. [in Russian].
16. Gotman A.L. K voprosu opredeleniya zony uplotneniya okolosvaynogo fundamenta [On the Issue of Determining the Compaction Zone of a Pile Foundation] // Collection of Scientific Papers / Mechanisms and Devices for Soil Development. – Ufa: Ufa Research Institute of Industrial Construction, 1987. – P. 31-39. [in Russian].
17. Seliverstov A.N., Seliverstov M.A. Issledovaniye deformatsiy glinistykh gruntov okolo zabivnykh svay [Study of deformations of clay soils near driven piles] // Collection of scientific papers. - Perm: Perm Agricultural Institute, 1997. - P.59-65. [in Russian].

МРНТИ 44.29.01 : 45.37.01

А.С. Тлешова | ©



Ст. преподаватель

ORCID

<https://orcid.org/0000-0002-4594-5265>



Таразский университет им. М.Х. Дулати,



г. Тараз, Казахстан



[akmaral.tleshova@mail.ru](mailto:akmaral.tleshova@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/ZSOA8105>

## ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ИНВЕРТОРОВ

**Аннотация.** В статье предложен резонансный преобразователь напряжения и способы широтно-импульсного регулирования его выходного напряжения. Рассмотрены причины неэффективности регулирования выходной мощности тиристорных инверторов. Также описаны преимущества регулирования резонансных инверторов с закрытым входом выполненных на базе несимметричных ячеек. В ходе данного исследования рассмотрена схема простого несимметричного инвертора на тиристоре со встречно-параллельным диодом. Представлены результаты исследования двух методов широтно-импульсного регулирования мощности резонансных инверторов по цепи постоянного тока, а также их основные характеристики. Характеристики регулирования исследовались на математической модели резонансного инвертора, содержащего две указанные ячейки, работающие на общую нагрузку. Расчет проводился интегрированием системы дифференциальных уравнений и в результате расчета получены основные характеристики инвертора при двух способах регулирования. В результате исследования представлены возможные варианты использования рассмотренных способов регулирования.

**Ключевые слова:** широтно-импульсное регулирование, резонансный инвертор, мощность, тиристор, источник питания.



Тлешова, А.С. Широтно-импульсное регулирование резонансных инверторов [Текст] / А.С. Тлешова // *Механика и технологии* / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.342-349. <https://doi.org/10.55956/ZSOA8105>

**Введение.** Существующие способы регулирования выходной мощности тиристорных инверторов: частотный, фазовый и регулирование путем изменения напряжения источника питания не всегда эффективны. Причины этого – низкая добротность нагрузки при частотном способе или принципиальная невозможность фазового регулирования для ряда схем инверторов, а также существенное усложнение схем (силовой и управления) при регулировании напряжения источника питания [1].

При работе резонансных инверторов с закрытым входом по цепи питания протекает переменная составляющая, которая определяется индуктивностью входного реактора, частотой коммутационных процессов в инверторе и его схемными особенностями. Эта переменная составляющая

может быть использована для коммутации ключа в цепи постоянного тока для широтно-импульсного регулирования мощности инвертора.

Эти свойства использованы в [2] для регулирования резонансных инверторов с закрытым входом, выполненных на базе несимметричных ячеек. Они позволяют регулировать выходную мощность инвертора путем изменения энергии, поступающей в коммутирующий контур от источника питания. Преимущества такого способа – простота и возможность регулирования при низкочастотной и чисто активной нагрузках.

**Условия и методы исследований.** Для пояснения принципа регулирования рассмотрим конкретную схему – простую несимметричную резонансную инверторную ячейку на тиристоре со встречно-параллельным диодом (рис. 1).

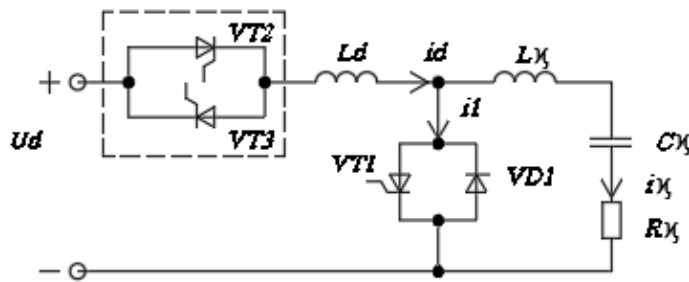


Рис. 1. Схема простого несимметричного инвертора на тиристоре со встречно-параллельным диодом

Работа инвертора описана в [2] и заключается в периодическом перезаряде коммутирующего конденсатора  $C_k$  через нагрузку  $z$ , коммутирующий реактор  $L_k$  и вентильную пару тиристор-диод VT1-VD1. Подзаряд конденсатора происходит от источника постоянного напряжения  $U_d$  через входной реактор  $L_d$ . При фиксированных параметрах схемы инвертора уменьшение индуктивности входного реактора ведет к увеличению пульсаций тока в нем и, начиная с определенного значения индуктивности, ток через реактор периодически, с частотой управления, становится отрицательным и течет обратно в источник. Вентильная пара, выполненная на тиристорах VT2-VT3 и установленная в цепи входного реактора, коммутируется обратным током, определяемым разностью потенциалов  $U_{Ck} - U_d$ , а регулируемая задержка на ее включение обеспечивает регулирование среднего тока, потребляемого инвертором, а следовательно, и его выходной мощности.

Второй метод регулирования основан на периодическом регулируемом разряде коммутационного конденсатора  $C_k$  после его полного заряда на источник питания. В этом случае тиристор VT2 используется в диодном включении, а VT3 осуществляет регулирование путем изменения момента начала возврата энергии коммутационного конденсатора источнику питания (рис. 1). Тиристор VT3 включается раньше инвертирующего тиристора VT1 на время опережения  $t_0$ , которое регулируется от нуля до  $T_y - T_0$ , где  $T_0$  – длительность проводящего состояния вентильной пары VT1-VD1. Изменение  $t_0$  приводит к изменению напряжения на коммутационном конденсаторе перед очередным включением тиристора VT1 и энергии, передаваемой в нагрузку в очередном периоде работы инвертора, т.е. к регулированию выходной мощности инвертора.

Характеристики регулирования исследовались на математической модели резонансного инвертора, содержащего две указанные ячейки, работающие на общую нагрузку. Работа инвертора в обычном режиме описана в [2] и заключается в поочередном перезаряде через цепь нагрузки коммутационных конденсаторов ячеек  $C_k$ . В работе каждой ячейки принципиально существует пауза, в течение которой коммутационные конденсаторы  $C_k$  подзаряжаются от источника питания  $U_d$  через входные реакторы  $L_d$ .

В цепи каждого реактора, аналогично схеме на рисунке 1, а, установлены встречно-параллельные вентили. Принципы регулирования, описанные выше, при этом сохраняются. Регулирование мощности достигается введением схемы  $C_3$  на выходе задающего генератора, выход которой подключается к управляющим электродам тиристоров, установленных в цепях входных токов инверторных ячеек.

Характеристики инвертора при рассматриваемых способах регулирования исследовались на математической модели, составленной на основе методики [2,3]. Система дифференциальных уравнений, описывающая процессы в инверторе:

$$\begin{aligned} \frac{did1}{dt} &= K_{BX1}A_1/Ld \\ \frac{did2}{dt} &= K_{BX2}A_1/Ld \\ \frac{di_1}{dt} &= \frac{B(L_{T1}+L_{D1})-DL_{T1}}{L_{T1}L_{D2}+L_k(L_{T1}+L_{D1})} \\ \frac{di_1}{dt} &= \frac{B(L_{T2}+L_{D2})-DL_{T2}}{L_{T2}L_{D2}+L_k(L_{T2}+L_{D2})} \\ \frac{di_{T1}}{dt} &= \frac{B}{L_{T1}} - \frac{L_k}{L_{T1}} - \frac{di_1}{dt} \\ \frac{di_{T2}}{dt} &= \frac{B}{L_{T2}} - \frac{L_k}{L_{T2}} - \frac{di_2}{dt} \end{aligned} \quad (1)$$

Значения коэффициентов определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} A &= U_d - u_c - u_{K1} - K_{BX1}id_1(rL_d + r_{Ck}) + i_1r_{Ck}; \\ A1 &= U_d - u_{CH} - u_{K1} - K_{BX2}id_2(rL_d + r_{Ck}) + i_2r_{Ck}; \\ Q &= e_{T0}K_{T1} - r_{T1}i_{T1}(rL_k + r_{Ck}) + K_{BX1}id_1r_{Ck} + u_{K1} + 2u_{CH}; \\ B &= e_{T0}K_{T2} - r_{T2}i_2(rL_k + r_{Ck}) + K_{BX2}r_{Ck} + u_{K1} + 2u_{CH}; \\ D &= e + K_{T1} + e_{D0}K_{D1} - i_{T1}(r_{T1} + r_{D1}) + i_1 r_{D1}; \\ E &= e_{T0}K_{T2} + e_{D0}K_{D2} - i_{T1}(r_{T2} + r_{D2}) + i_2r_{D2}. \end{aligned} \quad (2)$$

где,  $K_{вх1}, K_{вх2}, K_{Г1}, K_{Г2}, K_{Д1}, K_{Д2}$  – переключающие функции, отражающие состояние вентилях в цепи входного тока, состояние инвертирующего тиристора и встречно-параллельного диода для первой и второй ячеек соответственно; переключающая функция равна единице, если соответствующий вентиль находится во включенном состоянии, и нулю, если вентиль выключен;  $e_{т0}, r_{т}, e_{д0}, r_{д}, r_{Лд}, r_{К}, r_{С}$  – параметры схемы замещения силовых элементов инвертора, учитывающие их реальные свойства тиристоры, диодов, входных реакторов, коммутирующих реакторов и коммутирующих конденсаторов [3].

**Результаты исследований.** Расчет проводился интегрированием системы дифференциальных уравнений на ЭВМ методом Рунге-Кутты. Для конкретности исследовались процессы в схеме инвертора с частотой выходного тока 2400Гц, каждая ячейка которого содержит четыре тиристора ТБ-400 и три диода ВЧ-200. В соответствии с этим были приняты значения  $I_{т0}, I_{д0}, r_{т}$  и  $r_{д}$ .

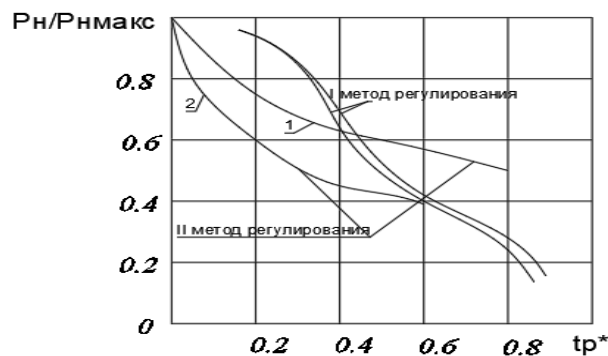


Рис. 2. Зависимость выходной мощности инвертора от времени регулирования при индуктивности входного реактора 1 мГн (1) и 0,75 мГн (2)

В результате расчета получены основные характеристики инвертора при двух способах регулирования. На рисунке 2 показана зависимость выходной мощности инвертора в функции времени. Для характеристики регулирования по первому способу времени  $t_p^*$  определялась из выражения:

$$t_p^* = \frac{t_3}{T_y} \quad (3)$$

Для второго способа

$$t_p^* = \frac{t_0}{T_y - T_0} \quad (4)$$

Мощности инвертора при  $t_3 = 0$  для первого способа и при  $t_0 = 0$  для второго способа регулирования максимальны и равны друг другу. При построении характеристик на рис. 2 данное значение мощности принято за базисную мощность  $P_{макс}$ .

При указанных значениях индуктивности реакторов (рис. 2) достижимый уровень снижения мощности при регулировании достигает 20% максимальной для первого метода и 40-50% – для второго. Дальнейшее снижение нижнего регулируемого уровня мощности требует уменьшения

индуктивности входных реакторов  $L_d$ , а также дополнительных мер по повышению устойчивости инвертора в пусковых режимах.

**Обсуждение результатов исследований.** Как и следовало ожидать, существенное воздействие на характеристики регулирования оказывает индуктивность входных реакторов. Чем меньше индуктивность входных реакторов, тем быстрее заряд или разряд коммутирующих конденсаторов, сильнее влияние времени на напряжение  $t_p^*$  на коммутирующих конденсаторах в момент очередного включения инверторных тиристоров, а следовательно, и на мощность инвертора. Одним из параметров, определяющих работоспособность инвертора, является время, предоставляемое тиристорам для восстановления запирающих свойств.

При обоих способах регулирования время, предоставляемое на восстановление тиристорам, включенным во входной цепи инвертора, всегда больше соответствующего времени для инверторных тиристоров. В свою очередь, время восстановления инверторных тиристоров определяется в основном параметрами коммутирующего контура  $L_k$  и  $C_k$  параметрами нагрузки  $Z_H$  и частотой выходного тока. Учитывая, что при рассматриваемых способах регулирования указанные параметры остаются постоянными, следует ожидать слабой зависимости времени восстановления от глубины регулирования. Расчеты подтвердили этот вывод и показали, что при снижении мощности время восстановления монотонно возрастает не более чем в 1,2 раза по сравнению с временем восстановления при максимальной мощности.

Существенное значение для эффективного использования инвертора имеет зависимость КПД от мощности инвертора. Используемые схемы замещения силовых элементов позволяют оценить потери в инверторе при регулировании. Более подробно об этом изложено в [2-7]. При регулировании во всем диапазоне КПД практически постоянен и несколько увеличивается при снижении выходной мощности. Это связано с тем, что при снижении мощности уменьшаются и выходной ток инвертора, и напряжение на его элементах, в отличие от частотного способа, при котором достигается регулирование только выходного напряжения, в то время как выходной ток остается практически постоянным.

Поэтому при рассматриваемых способах регулирования снижение выходной мощности вызывает пропорциональное снижение мощности потерь в инверторной части схемы. Учитывая, что мощность инвертора пропорциональна среднему значению тока, потребляемому от источника питания, а мощность потерь во входных реакторах  $L_d$  пропорциональна квадрату действующего тока, и предполагая, что коэффициент формы входного тока при регулировании остается постоянным, нетрудно видеть, что мощность потерь в реакторе  $L_d$  снижается быстрее, чем выходная мощность инвертора. Поэтому при регулировании наблюдается некоторое повышение КПД инвертора в целом.

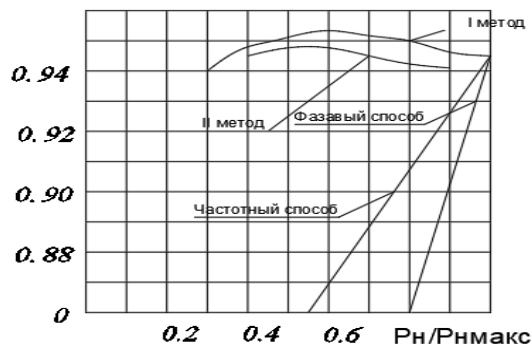


Рис. 3. Зависимости коэффициента полезного действия инвертора при различных методах регулирования

Для сравнения на рисунке 3 приведена зависимость КПД при регулировании мощности для частотного и фазового способов управления.

$$P_{BX} = P_H + \sum_{i=1}^n P_{\pi i} \quad (5)$$

где,  $P_{\pi i}$  – потери мощности в элементах силовой схемы инвертора.

Потери остальных элементов оказывают слабое влияние на к.п.д. инвертора, в связи с чем эти зависимости не приводятся. Указанное свойство данного способа регулирования по сравнению, например, с частотным регулированием, является существенным и практически ценным. С позиции лучших характеристик регулирования предпочтительным является первый метод регулирования, т.е. регулирование изменением напряжения на коммутирующих конденсаторах только в стадии заряда.

**Заключение.** На основании проведенного исследования можно выделить возможные варианты использования рассмотренных способов регулирования:

1. Основной вид регулирования. При этом характеристики регулирования определяются зависимостями, представленными на рисунках 2, 3.

2. Вспомогательный вид регулирования, например, совместно с частотным способом. В этом случае эти способы применяются при пониженных мощностях нагрузки, когда ток реакторов становится прерывистым. При этом характеристики регулирования могут быть существенно улучшены благодаря большему диапазону регулирования и снижению реактивной мощности входных реакторов.

#### Список литературы

1. Розанов, Ю.К. Силовая электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2016. – 704 с.
2. Томашевский, Д.Н. Автономные инверторы [Текст]: учебное пособие / Д.Н. Томашевский. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2019. – 120 с.
3. Андреев, Ю.А. Измерительная аппаратура на транзисторах [Текст]: учебник / Ю.А. Андреев, Б.Г. Волков. – Москва : Энергия, 2015. – 755 с.
4. Важенина, З.П. Импульсные генераторы на транзисторах [Текст]: учебник / З.П. Важенина. – Москва: Энергия, 2013. – 128 с.

5. Воронков, Э.Н. Основы проектирования усилительных и импульсных схем на транзисторах [Текст]: учебник / Э.Н. Воронков, Ю.А. Овечкин. – Москва: Машиностроение, 2015. – 312 с.
6. Демьянов, В.В. Любительские телевизоры на транзисторах [Текст]: учебник / В.В. Демьянов. – Москва: Книга по Требованию, 2012. – 992 с.
7. Куликов, С.В. Дискретные преобразователи сигналов на транзисторах [Текст]: учебник / С.В. Куликов, Б.В. Чистяков. – Москва: Энергия, 2015. – 288 с.

*Материал поступил в редакцию 06.01.25, принят 17.05.25.*

**А.С. Тлешова**

*М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан*

### **РЕЗОНАНСТЫ ИНВЕРТОРДЫ ЕНДІК-ИМПУЛСТІ РЕТТЕУ**

**Аңдатпа.** Мақалада резонанстық кернеу түрлендіргіші және оның шығыс кернеуін импульстің ені бойынша реттеу әдістері ұсынылған. Тиристорлық инверторлардың шығыс қуатын реттеудің тиімсіздігінің негізгі себептері қарастырылды. Сондай-ақ, асимметриялық ұяшықтар негізінде жасалған жабық кірісті резонанстық инверторларды реттеудің артықшылықтары сипатталған. Осы зерттеу барысында қарама-қарсы параллель диодты тиристордағы қарапайым асимметриялық инвертордың схемасы қарастырылды. Резонанстық инверторлардың тұрақты ток тізбегіндегі қуатын импульстің реттеудің екі әдісінің зерттеу нәтижелері, сондай-ақ олардың негізгі сипаттамалары келтірілген. Реттеу сипаттамалары жалпы жүктемеде жұмыс істейтін екі көрсетілген ұяшықтан тұратын резонанстық инвертордың математикалық моделінде зерттелді. Есептеу дифференциалдық теңдеулер жүйесін интеграциялау арқылы жүргізілді және есептеу нәтижесінде екі реттеу әдісімен инвертордың негізгі сипаттамалары алынды. Зерттеу нәтижесінде қарастырылған реттеу әдістерін қолданудың мүмкін нұсқалары келтірілген.

**Тірек сөздер:** кеңейтілген импульсті реттеу, резонанстық инвертор, қуат, тиристор, қорек көзі.

**A.S. Tleshova**

*M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan*

### **PULSE-WIDTH CONTROL OF RESONANT INVERTERS**

**Abstract.** The article proposes a resonant voltage converter and methods for pulse-width regulation of its output voltage. The reasons for the inefficiency of regulating the output power of thyristor inventories are considered. The advantages of regulating resonant inverters with a closed input based on asymmetric cells are also described. In the course of this study, the scheme of a simple asymmetric inverter on a thyristor with a counter-parallel diode is considered. The results of a study of two pulse-width power control methods for resonant inverters in a DC circuit, as well as their main characteristics, are presented. The control characteristics were studied using a mathematical model of a resonant inverter containing two specified cells operating at a common load. The calculation was carried out by integrating a system of differential equations, and as a result of the calculation, the main characteristics of the inverter were obtained with two control methods. As a result of the study, possible options for using the considered methods of regulation are presented.

**Keywords:** pulse width regulation, resonant inverter, power, thyristor, power supply.

#### References

1. Rozanov, Yu.K., Ryabchitskiy, M.V., Kvasnyuk, A.A. Silovaya elektronika [Power Electronics]: textbook for Universities. – Moscow: Publishing House MEI, 2016. – 704 p. [in Russian].
2. Tomashevskiy, D.N. Avtonomnye inventory [Autonomous Inverters]: Study Guide. – Yekaterinburg: Ural University Press, 2019. – 120 p. [in Russian].
3. Andreev, Yu.A., Volkov, B.G. Izmeritel'naya apparatura na tranzistorakh [Measuring Equipment Based on Transistors]: textbook. – Moscow: Energiya, 2015. – 755 p. [in Russian].
4. Vazhenina, Z. P. Impul'snye generatory na tranzistorakh [Pulse Generators on Transistors]: textbook. – Moscow: Energiya, 2013. – 128 p. [in Russian].
5. Voronkov, E.N., Ovechkin, Yu.A. Osnovy proektirovaniya usilitel'nykh i impul'snykh skhem na tranzistorakh [Fundamentals of Designing Amplifying and Pulse Circuits on Transistors]: textbook. – Moscow: Mashinostroenie, 2015. – 312 p. [in Russian].
6. Demyanov, V. V. Lyubitelskie televizory na tranzistorakh [Amateur Televisions on Transistors]: textbook. – Moscow: Book on Demand, 2012. – 992 p. [in Russian].
7. Kulikov, S.V., Chistyakov, B.V. Diskretnye preobrazovateli signalov na tranzistorakh [Discrete Signal Converters on Transistors]: textbook. – Moscow: Energiya, 2015. – 288 p. [in Russian].

МРНТИ 70.01.11

Г.С. Алимбетова<sup>1</sup> – основной автор, ©  
Г.Е. Омарова<sup>2</sup>, К. Калтай<sup>3</sup>,  
А. Рысалиева<sup>4</sup>, Н.К. Рысмаханов<sup>5</sup>



<sup>1</sup>Магистрант, Конструктор 3 категории, <sup>2</sup>Д-р техн. наук, профессор,  
<sup>3,4,5</sup>Докторант

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0004-5046-0520> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-7776-6600>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0003-9972-3865> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-1013-1402>  
<sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0009-0430-4996>



<sup>1,5</sup>Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства,  
г. Тараз, Казахстан

<sup>2,3,4</sup>Казахский национальный университет водного хозяйства и ирригации,  
г. Тараз, Казахстан

@

<sup>1</sup>[gulzhan-alimbetova@mail.ru](mailto:gulzhan-alimbetova@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/ВНОК6673>

## ПРОГНОЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ БАСЕЙНА РЕКИ ТАЛАС ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

**Аннотация.** Прогнозирование эффективного хозяйственного использования орошаемых территорий бассейна реки Талас приобретает актуальность в контексте решения экологических, экономических социальных и политических аспектов, а также прогнозные тенденции, непосредственно связанные с изменением климата и водными ресурсами. Цель данного исследования – разработка прогноза использования орошаемых территорий бассейна реки Талас для повышения эффективности хозяйственной деятельности. Это включает анализ текущего состояния ирригационных систем, оценку водных и почвенных ресурсов. Актуальность прогнозов заключается в необходимости моделирования сценариев, учитывающих эти факторы для внедрения водосберегающих технологий. Водные ресурсы бассейна поддерживают жизненный процесс, преимущественно через сельскохозяйственную деятельность. Прогнозы использования орошаемых территорий дают возможность повысить эффективность хозяйственной деятельности, увеличив рентабельность на 15-20% за счет внедрения современных подходов. Они служат основой для разработки стратегий, направленных на сокращение потерь воды, предотвращение засоления почв, повышение урожайности и устойчивости сельского хозяйства, а также обеспечение экологической стабильности региона в условиях современных вызовов.

**Ключевые слова:** орошаемое земледелие, водные ресурсы, прогноз водообеспеченности, водосберегающие технологии, бассейн реки Талас.



Алимбетова, Г.С. Прогноз использования орошаемых территорий бассейна реки Талас для эффективного хозяйственного использования [Текст] / Г.С. Алимбетова, Г.Е. Омарова, К. Калтай, А. Рысалиева, Н.К. Рысмаханов //Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.350-359. <https://doi.org/10.55956/ВНОК6673>

**Введение.** Река Талас играет важнейшую роль и обеспечивает водными ресурсами Жамбылский, Таласский, Байзакский, Мойынкумский районы для ирригации сельскохозяйственных земель. Эти ресурсы составляют сельскохозяйственную деятельность, от которой зависят экономическая ситуация региона. Экономика Жамбылской области в значительной степени зависит от сельского хозяйства, где орошение от ресурсов реки Талас обеспечивает производство ключевых сельскохозяйственных культур, в основном, это – зерновые и овощи. Политический фактор актуальности добавляет географическое расположение бассейна реки Талас, который является трансграничным, разделенным между Казахстаном и Кыргызстаном. Эффективное управление требует международного сотрудничества в рамках Комиссии по Шу-Таласскому бассейну, которая способствует интегрированному управлению водными ресурсами. Прогнозы помогают в урегулировании конфликтов, связанных с распределением воды, особенно в условиях нарастающего дефицита. Изменение климата оказывает серьезное влияние на гидрологические процессы в бассейне реки Талас, что прогнозирует использование орошаемых территорий необходимыми для предотвращения экологических бедствий. В соответствии с предположениями, что температура в бассейнах Шу и Талас может повыситься на 2-3°C к 2050 году и на 3-4°C к 2100 году по умеренному сценарию RCP 4.5 МГЭИК [1], что приведет к ускоренному таянию ледников, первоначальному повышению стока рек с последующим снижением. Исследования показывают, что среднегодовой сток реки Талас может сократиться с 1,8 км<sup>3</sup> до 1,5 км<sup>3</sup> к 2080 году, а для всего бассейна предвидится снижение на 25-30% к 2050 году. Такие изменения увеличивают угрозы наводнений в краткосрочной перспективе и засух в долгосрочной, что напрямую воздействует на орошаемые земли. В Казахстане перемены в климате уже приводят к изменению режима осадков, повышению испарения и снижению доступности воды для ирригации. В Жамбылской области, где река Талас осуществляет орошение больших площадей, наблюдаются проблемы с засолением почв и подъемом грунтовых вод из-за неэффективного использования ресурсов. Рост дефицита воды к 2050 году может привести к деградации до 30% орошаемых земель без адекватных мер.

Орошаемые территории бассейна реки Талас являются жизненно важным ресурсом Жамбылской области, определяющим продовольственную безопасность населения. Однако недостаточность современного научно-технического обеспечения мелиорации орошаемых земель сдерживает развитие конкурентоспособного производства сельскохозяйственной продукции в объемах, достаточных для удовлетворения потребностей внутреннего рынка и формирования экспортных ресурсов, с целью улучшения позиций на внешних рынках, а также успешному развитию водного сектора экономики и водохозяйственной политики.

Проведенные анализ и исследования соответствуют стратегически важной государственной задаче водообеспечения агропромышленного комплекса Республики Казахстан и решения вопросов поставленных в стратегических и программных документах, например таких как, Послание Главы Государства Касым-Жомарта Токаева от 8 сентября 2025 года «Конструктивный общественный диалог – основа стабильности и процветания Казахстана» [2], где Президент озвучил направление по развитию интегрированного развития и автоматизации использования водных ресурсов в орошаемой земледелии путем широкого внедрения

цифровых механизмов использования водных ресурсов и применение водосберегающих технологий орошения.

Резервы сэкономленных водных ресурсов для расширения новых орошаемых земель можно создать за счет сокращения потерь воды в ирригационных системах и непосредственно на орошаемых массивах на основе применения передовых водосберегающих технологий орошения сельскохозяйственных культур. Изучение тенденций формирования и прогнозирования изменения доступных водных ресурсов на орошение, позволит усовершенствовать управление водными ресурсами в орошаемом земледелии с учетом целесообразности потребления и спроса, а также особенностей регионов.

В этой связи проведены исследования и создана структура на базе мониторинга (БМ) мелиоративного состояния орошаемых земель, которая включает базу данных многолетних исследований: климатические данные, показатели почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель, картографические материалы и статистические данные.

В работе использована методика оценки перспективных водообеспеченных территорий для развития орошаемого земледелия южно-го региона РК (наличие водных источников, тип почвы, рельеф и др.)

Все натурные исследования были выполнены в соответствии требованиям стандартов, норм и правил технологической и экологической безопасности, отраженным в законодательных актах Республики Казахстан и выполняться по общепринятым методикам, с соблюдением ГОСТов и отраслевых стандартов [3].

**Условия и методы исследования.** Методы исследования орошаемых территорий бассейна реки Талас основывались на комплексном исследовании орошаемых территорий бассейна реки Талас, требуемых сочетания ГИС-анализа, гидрологических и почвенных исследований, экономической и экологической оценки, а также внедрения современных цифровых технологий [4-6]. Такой междисциплинарный подход обеспечивает эффективное и устойчивое хозяйственное использование земель и основывается на семи основных методах:

– Прогнозные методы: использование и анализ ведомственных и статических данных и их обработка;

– Картографо-геоинформационные методы использования ГИС и ДЗЗ для составления карт орошаемых земель, анализа пространственных особенностей и мониторинга динамики посевов. Применение спутниковых данных (Landsat, Sentinel) и аэрофотосъёмки с дронов для выявления деградации земель и состояния ирригационных систем;

– Гидрологические и водохозяйственные методы: расчёт водного баланса бассейна, гидрометрические наблюдения на гидростаях, моделирование водопотребности культур, оценка КПД каналов;

– Почвенно-агрономические методы: агрохимический анализ почв, оценка засоления и щёлочности, мониторинг плодородия, внедрение экспериментальных способов орошения (капельное, дождевание);

– Экономические методы: экономико-математическое моделирование структуры посевов, анализ затрат и рентабельности, выявление эффективных технологий полива, опросы фермеров для оценки барьеров внедрения инноваций;

– Экологические методы: мониторинг уровня грунтовых вод, оценка влияния орошения на экосистемы, GIS-моделирование деградации, сценарное прогнозирование климатических рисков;

– Инновационные подходы: применение систем точного земледелия, датчиков влажности почв, смарт-моделей полива, Big Data и машинного обучения для прогнозирования урожайности и оптимизации водопользования.

Схема этапов исследования и сценарии повышения рентабельности для выбора наиболее выгодных культур приведен ниже (рис. 1, 2).

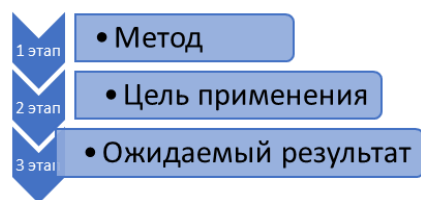


Рис. 1. Этапы исследования орошаемых территорий



Рис. 2. Сценарии повышения рентабельности, выбор наиболее выгодных культур

**Результаты исследований и их обсуждение.** Общий объем забора свежей воды для использования в отраслях экономики по Жамбылской области в 2024 году составил 1727,467 млн.м<sup>3</sup>, в том числе из поверхностных источников 1668,137 млн.м<sup>3</sup>, из подземных 59,331 млн.м<sup>3</sup>, (в том числе 2,397 млн.м<sup>3</sup> шахтно-рудничных вод) по сравнению с 2023 годом общий водозабор (1526,894млн.м<sup>3</sup>) увеличился на 200,574 млн.м<sup>3</sup>, в т.ч. поверхностных на 197,723 млн.м<sup>3</sup>, увеличение подземных вод – на 2,851 млн.м<sup>3</sup> [7].

То есть забор воды на хозяйственно-питьевые нужды уменьшился на 0,215 млн.м<sup>3</sup>, на производственные увеличился на 2,661 млн.м<sup>3</sup>, на сельское хозяйство увеличился на 198,228 млн.м<sup>3</sup>, на рыбное хозяйств остался без изменений по сравнению с 2023 годом. Полив зеленных насаждений уменьшился на 0,046 млн. м<sup>3</sup>.

Объем воды, забранной для использования отраслями экономики составил 1727,467 млн.м<sup>3</sup>. Сведения по отраслям экономики приведены в таблице 1.

Таблица 1

Водозабор по отраслям экономики Жамбылской области по реке Талас в 2024

№ п/п	Отрасль экономики	объем, млн.м <sup>3</sup>
1	хозяйственно-питьевые	39,669
2	производственные	40,935
3	сельское хозяйство	1646,707
4	рыбное хозяйство	0,128
5	полив зеленных насаждений	0,022
6	прочие нужды	0,006
	Итого	1727,467

Общий объем забора из реки Талас в ближайшие 10 лет будет меняться под влиянием демографических, экономических и технологических факторов. Основные направления потребления воды распределяются по четырём группам: хозяйственно-питьевые нужды, производственные нужды, сельское хозяйство, а также рыбное хозяйство, полив зелёных насаждений и прочие цели:

1. Хозяйственно-питьевые нужды растут пропорционально росту населения (1,5-2% в год). Таким образом, эта категория в общем водозаборе в долгосрочной перспективе имеет устойчивую тенденцию к увеличению;

2. Производственные нужды зависят от промышленного роста (1-3% в год). Это отражает ожидаемое расширение производства и рост потребностей в технической воде. Данная категория относительно мала по сравнению с сельским хозяйством и связана с темпами экономического роста, но постепенно может усиливать нагрузку на водные ресурсы;

3. Сельское хозяйство – ключевой потребитель (95%), динамика зависит от расширения орошаемых земель и водосберегающих технологий (рост 0,5-1% при модернизации, до 2% без неё). То есть при недостаточных инвестициях в модернизацию рост может быть выше и увеличится нагрузка на речные ресурсы, что может привести к рискам дефицита.

4. Рыбное хозяйство, полив зелёных насаждений и прочие нужды – эта группа остается наименее значимой, демонстрирует стабильность, колебания составляют  $\pm 0,5\%$ , что существенного влияния на общую динамику водопотребления не оказывает;

5. Прочие нужды остаются без изменений.

Таким образом, несмотря на непрерывный рост промышленных и бытовых потребностей, сельское хозяйство останется доминирующим потребителем воды. Прогноз объема забора из реки Талас в ближайшие 10 лет приведена в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2

Прогноз водозабора по реке Талас к 2030-2035 гг.

№ п/п	Отрасль экономики	2024 (база) млн.м <sup>3</sup>	2030 (прогноз) млн.м <sup>3</sup>	2035 (прогноз) млн.м <sup>3</sup>
1	хозяйственно-питьевые	39,669	42,9	46,2
2	производственные	40,935	45,2	49,9
3	сельское хозяйство	1646,707	1725,9	1810,7
4	рыбное хозяйство	0,128	0,13	0,13
5	полив зеленных насаждений	0,022	0,023	0,023
6	прочие нужды	0,006	0,006	0,006
Итого		1727,467	1814,2	1907,0

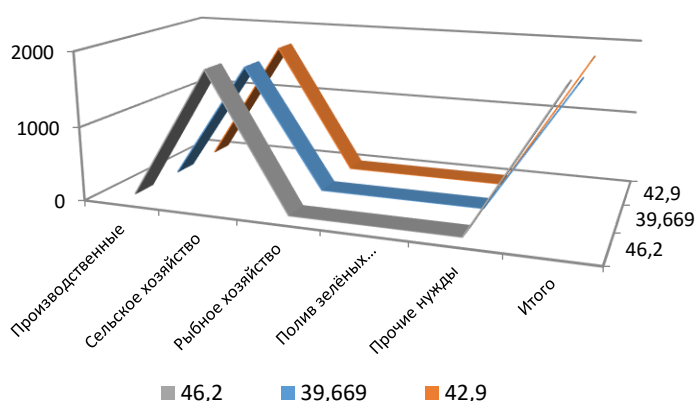


Рис. 3. Прогноз водозабора реки Талас по отраслям на период 2030-2035 гг.

Результаты анализа показывают, что прирост водопотребления к 2030 году составит 87 млн.м<sup>3</sup>, к 2035 году – 180 млн.м<sup>3</sup>. Таким образом, необходимы меры по повышению эффективности орошения и внедрению водосберегающих технологий для обеспечения устойчивого водопользования в бассейне реки Талас.

Проведённое исследование орошаемых территорий бассейна реки Талас выявило ключевые проблемы и возможности для перспективного развития ирригационного земледелия в регионе [6]:

– Пространственный анализ (ГИС и ДЗЗ): Сокращение площади орошаемых земель на 12-15% за период 2015-2025 гг., что указывает на деградацию ирригационных систем, особенно в нижнем течении реки, где КПД каналов составляет всего 0,45-0,55. Это обусловлено устаревшей инфраструктурой, отсутствием регулярного технического обслуживания и низкой эффективностью водораспределения. Недостаточное орошение 25-30% полей подчёркивает неравномерность водоснабжения, что требует внедрения современных методов мониторинга и управления, таких как ГИС и дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). Эти технологии позволяют точно определять проблемные участки и оптимизировать распределение водных ресурсов.

– Водохозяйственный анализ: Среднегодовой сток реки Талас (2,2-2,5 км<sup>3</sup>) преимущественно (70-75%) используется для ирригации, однако до 40% воды теряется в каналах из-за их низкой технической эффективности. Внедрение капельного и дождевого орошения демонстрирует значительное снижение водозатрат (на 25-35%), что подтверждает целесообразность

перехода к водосберегающим технологиям. Однако высокие первоначальные затраты на установку таких систем требуют государственной поддержки или привлечения инвестиций.

– Почвенно-агрономические исследования: Вторичное засоление почв, затрагивающее 28-30% земель, является серьёзной угрозой для устойчивого земледелия. Это связано с неконтролируемым поливом и подъёмом грунтовых вод, особенно в нижнем течении. Оптимальная норма полива (7-8 тыс. м<sup>3</sup>/га) позволяет минимизировать засоление.

– Экономическая оценка: Водосберегающее орошение, несмотря на более высокие затраты, обеспечивает рост рентабельности на 15-20%. Это обусловлено снижением потерь воды и увеличением урожайности. Оптимизация структуры посевов дополнительно повышает экономический эффект на 12-15%, что делает её важным инструментом для повышения доходности фермерских хозяйств.

– Экологические результаты: Подъём грунтовых вод на 0,5-1,2 м в нижнем течении и связанное с ним переувлажнение почв приводят к снижению биоразнообразия. Прогнозируемый рост дефицита воды к 2050 г. (15-20%) подчёркивает необходимость срочных мер по рациональному использованию водных ресурсов. Внедрение водосберегающих технологий и мониторинга может смягчить экологические последствия, но требует комплексного подхода, включая восстановление экосистем и контроль за водопотреблением.

– Инновационные и цифровые методы: Дистанционный мониторинг и автоматизация орошения показали высокую эффективность, сократив поливную норму на 10-12% и повысив КПД до 0,75-0,8. Точное земледелие, основанное на данных ГИС и ДЗЗ, позволяет оптимизировать водопотребление и минимизировать экологический ущерб. Однако внедрение этих технологий ограничено высокой стоимостью оборудования и недостаточной подготовкой специалистов.

**Заключение.** Исследование орошаемых территорий бассейна реки Талас выявило ключевые проблемы, существенно ограничивающие эффективность сельскохозяйственного производства, связанные с деградацией земель, высокими потерями воды, вторичным засолением почв и низкой эффективностью традиционных методов орошения [8-10]. Сокращение орошаемых площадей на 12-15% зафиксировано за период 2015-2025 гг., так же значительные водопотери (до 40%) и экологические вызовы, такие как подъём грунтовых вод и снижение биоразнообразия, подчёркивают необходимость срочных мер. Внедрение капельного и дождевого орошения показало высокую эффективность, снижая водозатраты на 25-35% и повышая урожайность и рентабельность (на 15-20%). Цифровые технологии, включая ГИС и дистанционный мониторинг, позволяют оптимизировать водопотребление и повысить КПД до 0,75-0,8. Для устойчивого развития региона требуется комплексный подход, объединяющий модернизацию ирригационной инфраструктуры, внедрение водосберегающих технологий, оптимизацию структуры посевов и обучение фермеров [11-16]. Государственная поддержка и инвестиции в инновации станут решающими факторами для минимизации экологических рисков и обеспечения продовольственной безопасности [12].

Сценарное прогнозирование для эффективного хозяйственного использования до 2050 года показывает, что при условии перехода на водосберегающие технологии и интегрированное управление водными

ресурсами возможно гарантированное орошение на площади до 80-85 тыс. га (против текущих 65-70 тыс. га), даже с учётом ожидаемого дефицита водных ресурсов.

Можно сделать вывод: бассейн реки Талас обладает высоким потенциалом для устойчивого развития сельского хозяйства, при условии плановых реформ в сфере водопользования, что позволит не только минимизировать экологические риски, но и обеспечить стабильное продовольственное снабжение региона к 2050 году.

#### Список литературы

1. МГЭИК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://unece.org/sites/default/files/datastore/fileadmin/DAM/env/water/Chu-Talas/EN\\_ClimateProofingChuTalas\\_web\\_10Dec2018.pdf](https://unece.org/sites/default/files/datastore/fileadmin/DAM/env/water/Chu-Talas/EN_ClimateProofingChuTalas_web_10Dec2018.pdf).
2. Послание Президента Касым-Жомарта Токаева от 08 сентября 2025 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zakon.kz/obshestvo/6490035-poslanie-prezidenta-tokaeva-narodu-kazakhstan-a-video.htm>.
3. Индексы растительности NDVI, почвенный индекс SAVI, индекс повышенной растительности EVI, индекс нормированной разности влажности NDWI и др. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://code.earthengine.google.com/17dd3620fd54566076c40f5575d4a2e8>.
4. Шахова, Г.А. Экономическая оценка эффективности методов орошения в сельском хозяйстве [Текст] / Г.А. Шахова, М.К. Жуманова. – Караганда: КарГУ, 2020. – 162 с.
5. Трофимов, С.С. Почвенные исследования орошаемых территорий [Текст] / С.С. Трофимов, П.Н. Мельников. – Москва : Наука, 2016. – 288 с.
6. Water Resources of the Talas River Basin. UNECE Project Report. – Geneva, 2017.
7. Отчет Шу-Таласской бассейновой инспекции по регулированию, охране и использованию водных ресурсов КРОИВР МВРИ РК. Отчетный период: 2024 год [Текст]. – Тараз, 2025.
8. Агашев, Ш.Ж. Рациональное использование водных ресурсов в орошаемом земледелии Казахстана [Текст] / Ш.Ж. Агашев, Б.Б. Байбулатов. – Алматы: КазНАУ, 2018. – 214 с.
9. Алиев, Г.А. Мелиорация и использование орошаемых земель [Текст] / Г.А. Алиев. – Москва: Колос, 2015. – 356 с.
10. Ахметов, С.А. Современные технологии водопользования в сельском хозяйстве Казахстана [Текст] / С.А. Ахметов, Е.К. Жолдасбаев. – Нур-Султан: ИК «Фолиант», 2020. – 275 с.
11. Бегалиев, С.Б. Орошаемое земледелие Казахстана: проблемы и пути решения [Текст] / С.Б. Бегалиев. – Шымкент : ЮКГУ, 2017. – 198 с.
12. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и природопользования Республики Казахстан (2015-2022) [Текст]. – Нур-Султан: Министерство экологии и природных ресурсов РК, 2023.
13. FAO. Irrigation in Central Asia in Figures. AQUASTAT Survey. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021.
14. IPCC. Climate Change and Water. Intergovernmental Panel on Climate Change Technical Paper. – Geneva, 2019.
15. Qadir, M., Noble, A.D., Karajeh, F., George, B. Potential business opportunities from saline water and salt-affected land resources. – Colombo: International Water Management Institute (IWMI), 2015.
16. United Nations Development Programme (UNDP). Sustainable Land and Water Management in Central Asia. – New York, 2020.

*Материал поступил в редакцию 12.09.25, принят 27.09.25.*

Г.С. Алимбетова<sup>1</sup>, Г.Е. Омарова<sup>2</sup>, К. Калтай<sup>2</sup>, А. Рысалиева<sup>2</sup>, Н.К. Рысмаханов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Қазақ су шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Тараз қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Қазақ ұлттық су шаруашылығы және ирригация университеті,  
Тараз қ., Қазақстан

#### ТАЛАС ӨЗЕНІ БАСЕЙНІНІҢ СУАРМАЛЫ АЛҚАПТАРЫН ШАРУАШЫЛЫҚҚА ТИІМДІ ПАЙДАЛАНУ ҮШІН ПАЙДАЛАНУ БОЛЖАМЫ

**Аңдатпа.** Талас өзені бассейніндегі суармалы алқаптарды тиімді экономикалық пайдалануды болжау экологиялық, экономикалық, әлеуметтік және саяси аспектілерді, сондай-ақ климаттың өзгеруіне және су ресурстарына тікелей байланысты болжам тенденцияларын шешу контекстінде маңыздырақ болып отыр. Бұл зерттеудің мақсаты экономикалық тиімділікті арттыру үшін Талас өзені бассейніндегі суармалы алқаптарды пайдалану болжамын жасау болып табылады. Бұл суару жүйелерінің ағымдағы жағдайын талдауды және су және топырақ ресурстарын бағалауды қамтиды. Бассейннің су ресурстары, ең алдымен, ауылшаруашылық қызметі арқылы тіршілік процестерін қамтамасыз етеді. Суармалы алқаптарды пайдаланудың болжамдары заманауи тәсілдерді енгізу арқылы рентабельділікті 15-20%-ға арттыра отырып, шаруашылық қызметінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Олар судың жоғалуын азайтуға, топырақтың тұздануын болдырмауға, ауыл шаруашылығы өнімділігі мен тұрақтылығын арттыруға, заманауи сын-қатерлер жағдайында аймақтың экологиялық тұрақтылығын қамтамасыз етуге бағытталған стратегияларды әзірлеуге негіз болады.

**Тірек сөздер:** суармалы егіншілік, су ресурстары, судың болуы болжамы, су үнемдеу технологиялары, Талас өзені бассейні.

G.S. Alimbetova<sup>1</sup>, G.E. Omarova<sup>2</sup>, K. Kaltai<sup>2</sup>, A. Rysaliev<sup>2</sup>, N.K. Rysmakhanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazakh Scientific Research Institute of Water Management, Taraz, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakh National University of Water Management and Irrigation, Taraz, Kazakhstan

#### FORECAST OF IRRIGATED LAND USE IN THE TALAS RIVER BASIN FOR EFFECTIVE ECONOMIC UTILIZATION

**Abstract.** Forecasting the efficient economic use of irrigated areas in the Talas River basin is becoming increasingly important in the context of addressing environmental, economic, social and political aspects, as well as forecast trends directly related to climate change and water resources. The purpose of this study is to develop a forecast for the use of irrigated areas in the Talas River basin to improve economic efficiency. This includes an analysis of the current state of irrigation systems and an assessment of water and soil resources. The relevance of forecasts lies in the need to model scenarios that take these factors into account for the implementation of water-saving technologies. The basin's water resources support life processes, primarily through agricultural activities. Forecasts for the use of irrigated areas provide the opportunity to improve the efficiency of economic activities, increasing profitability by 15-20% through the implementation of modern approaches. They serve as the basis for developing strategies aimed at reducing water loss, preventing soil salinization, increasing agricultural productivity and sustainability, and ensuring the region's environmental stability in the face of modern challenges.

**Keywords:** irrigated agriculture, water resources, water availability forecast, water-saving technologies, Talas River basin.

---

### References

1. MGEIK. – [Electronic resource]. – Access mode: [https://unece.org/sites/default/files/datastore/fileadmin/DAM/env/water/Chu-Talas/EN\\_ClimateProofingChuTalas\\_web\\_10Dec2018.pdf](https://unece.org/sites/default/files/datastore/fileadmin/DAM/env/water/Chu-Talas/EN_ClimateProofingChuTalas_web_10Dec2018.pdf). [in Russian].
2. Address by President Kassym-Jomart Tokayev of September 8, 2025. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.zakon.kz/obshestvo/6490035-poslanie-prezidenta-tokaeva-narodu-kazakhstan-a-video.htm>. [in Russian].
3. Vegetation indices NDVI, Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Normalized Difference Water Index (NDWI), etc. <https://code.earthengine.google.com/17dd3620fd54566076c40f5575d4a2e8>. [in Russian].
4. Shakhova, G.A., Zhumanova, M.K. Ekonomicheskaya otsenka effektivnosti metodov orosheniya v sel'skom khozyaystve [Economic Assessment of Irrigation Methods Efficiency in Agriculture]. – Karaganda: KarGU, 2020. – 162 p. [in Russian].
5. Trofimov, S.S., Mel'nikov, P.N. Pochvennye issledovaniya oroshaemykh territoriy [Soil Studies of Irrigated Lands]. – Moscow: Nauka, 2016. – 288 p. [in Russian].
6. Water Resources of the Talas River Basin. UNECE Project Report. – Geneva, 2017.
7. Otchet Shu-Talasskoy basseynovoy inspektsiyey po regulirovaniyu, okhrane i ispol'zovaniyu vodnykh resursov KROI VR MVRI RK [Report of the Chu-Talas Basin Inspection on Regulation, Protection and Use of Water Resources, KROI VR, Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan]. – Reporting period: 2024. [in Russian].
8. Agashev, Sh.Zh., Baybulatov, B.B. Ratsional'noe ispol'zovanie vodnykh resursov v oroshaemom zemledelii Kazakhstana [Rational Use of Water Resources in Irrigated Agriculture of Kazakhstan]. – Almaty: KazNAU, 2018. – 214 p. [in Russian].
9. Aliev, G.A. Melioratsiya i ispol'zovanie oroshaemykh zemel' [Land Reclamation and Use of Irrigated Lands]. – Moscow: Kolos, 2015. – 356 p. [in Russian].
10. Akhmetov, S.A., Zholdasbaev, E.K. Sovremennyye tekhnologii vodopol'zovaniya v sel'skom khozyaystve Kazakhstana [Modern Water Use Technologies in Kazakhstan Agriculture]. – Nur-Sultan: Foliant, 2020. – 275 p. [in Russian].
11. Begaliev, S.B. Oroshaemoe zemledelie Kazakhstana: problemy i puti resheniya [Irrigated Agriculture of Kazakhstan: Problems and Solutions]. – Shymkent: South Kazakhstan State University, 2017. – 198 p. [in Russian].
12. Natsional'nyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovaniya Respubliki Kazakhstan (2015–2022) [National Report on the State of Environment and Nature Management of the Republic of Kazakhstan (2015–2022)]. – Nur-Sultan: Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. [in Russian].
13. FAO. Irrigation in Central Asia in Figures. AQUASTAT Survey. – Rome: FAO, 2021.
14. IPCC. Climate Change and Water. Intergovernmental Panel on Climate Change Technical Paper. – Geneva, 2019.
15. Qadir, M., Noble, A.D., Karajeh, F., George, B. Potential business opportunities from saline water and salt-affected land resources. – Colombo: International Water Management Institute (IWMI), 2015.
16. United Nations Development Programme (UNDP). Sustainable Land and Water Management in Central Asia. – New York, 2020.

МРНТИ 70.85.29

А.Б. Мадимарова<sup>1</sup> – основной автор, ©  
Т.К. Иманалиев<sup>2</sup>, А.Н. Ермекбай<sup>3</sup>,  
А.М. Жакашов<sup>4</sup>, Б.С. Кали<sup>5</sup>



<sup>1,4,5</sup>Магистр с.-х. наук, <sup>2,3</sup>Магистр техн. наук

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0009-0475-6765> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-9039-2671>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0009-6822-379X> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-5471-5795>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0002-0031-5518>



<sup>1,2,3,4,5</sup>Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства,



г. Тараз, Казахстан



<sup>1</sup>[ayman\\_madimarova@mail.ru](mailto:ayman_madimarova@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/FTBK9282>

## АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ К МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ВОДОУЧЕТА И ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

**Аннотация.** Статья посвящена анализу нормативно-правовой базы Республики Казахстан, регулирующей цифровизацию водочёта и водораспределения. Выявлены ключевые положения законодательства, поддерживающие внедрение автоматизированных систем, а также барьеры, препятствующие эффективной цифровой трансформации отрасли. Рассмотрены институциональная роль РГП «Казводхоз» и потенциал применения международного опыта. Предложены рекомендации по совершенствованию законодательства и обеспечению устойчивого водопользования. Так же приведён сравнительный анализ с нормативными и программными подходами в области цифрового и водного управление, реализуемыми в Российской Федерации, Республике Узбекистан и Соединённых Штатах Америки.

**Ключевые слова:** цифровизация, водочёт, водораспределение, Водный кодекс, автоматизация.



Мадимарова, А.Б. Анализ нормативно-правовой базы к методике исследования по цифровизации процессов водочёта и водораспределения [Текст] / А.Б. Мадимарова, Т.К. Иманалиев, А.Н. Ермекбай, А.М. Жакашов, Б.С. Кали // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.360-370. <https://doi.org/10.55956/FTBK9282>

**Введение.** Республика Казахстан сталкивается с нарастающим дефицитом водных ресурсов, обусловленным климатическими изменениями, ростом водопотребления в аграрном секторе, износом гидротехнической инфраструктуры и высоким уровнем потерь воды. В этих условиях обеспечение устойчивого и справедливого распределения водных ресурсов является одним из приоритетов государственной политики. Наряду с модернизацией каналов, насосных станций и других объектов, особое внимание уделяется внедрению цифровых технологий. В частности, автоматизированные системы водочёта и распределения, SCADA-системы,

геоинформационные платформы (ГИС) и дистанционный мониторинг позволяют повысить прозрачность, оперативность и точность управления водными потоками. Внедрение таких решений возможно только при наличии прочной нормативно-правовой базы, регламентирующей технические параметры, правовой статус цифровых данных и порядок взаимодействия между государственными и частными водопользователями. Цифровизация процессов водоучёта и водораспределения в Республике Казахстан опирается на широкий спектр нормативно-правовых документов, включающих как основополагающие кодексы, так и стратегические и технические нормативы, регулирующие сферу водного хозяйства. В условиях нарастающего вододефицита и климатических вызовов правовая основа должна не только обеспечивать эффективное регулирование, но и стимулировать внедрение цифровых и автоматизированных решений в отрасли.

Рациональное использование водных ресурсов в сельском хозяйстве является одной из ключевых задач устойчивого развития аграрного сектора, особенно в условиях изменения климата и дефицита воды. Для обеспечения сельхозпроизводителей оросительной водой в различных странах используются различные модели управления, организации подачи воды и заключения договоров с водопользователями.

**Обзор и анализ научных исследований.** В 2025 году в Республике Казахстан вступил в силу новый Водный кодекс, подготовленный Министерством водных ресурсов и ирригации. Документ отражает курс государства на устойчивое и эффективное управление водными ресурсами в условиях нарастающего дефицита воды, изменения климата и необходимости модернизации водохозяйственной отрасли. Одним из ключевых нововведений стало официальное введение понятия «водная безопасность», охватывающего защиту населения и экономики от дефицита и загрязнения воды, а также обеспечение интересов страны при использовании и охране трансграничных водных ресурсов. Для предотвращения деградации водных объектов впервые закреплено понятие «экологический сток» – минимально допустимый объем воды, необходимый для сохранения и функционирования водных экосистем.

Кодекс предусматривает разработку Генерального и бассейновых планов управления водными ресурсами, в которых будут определяться цели, задачи, подходы и приоритетные меры на основе анализа и прогноза водных ресурсов. Эти планы станут ориентиром для стратегического государственного планирования. Существенно расширено участие общественности в управлении водными ресурсами. Бассейновые советы получили право выдвигать рекомендации по сокращению объемов водопользования, мерам реагирования на паводки и засухи, а также по устранению нарушений, допущенных органами местной власти.

Особое внимание уделено охране малых рек, озёр, водно-болотных угодий и ледников. Запрещено строительство глухих плотин на малых реках, а все населённые пункты в течение двух лет должны определить и утвердить водоохраные зоны и полосы. Отдельным направлением стала безопасность гидротехнических сооружений: введена глава, посвящённая систематизации требований к ведению реестра, эксплуатации, проведению обследований и подготовке деклараций безопасности. Также планируется разработка регламента безопасности этих объектов.

Значительное внимание уделено цифровизации водного сектора – в Кодексе предусмотрено внедрение автоматизированных систем водоучёта и

водораспределения, что позволит повысить точность мониторинга и управления водными ресурсами. Среди других нововведений - упрощение порядка накопления талых вод для сельскохозяйственных нужд: водопользователям разрешено без получения специального разрешения создавать водоём объёмом до 2 млн м<sup>3</sup>, при условии уведомления бассейновой водной инспекции и регистрации объекта как гидротехнического сооружения.

Дополнительно в Кодексе отражены меры по развитию инфраструктуры водоснабжения и водоотведения, регулированию ливневых и дренажных стоков, а также передаче бесхозяйных водохозяйственных систем в коммунальную собственность [1].

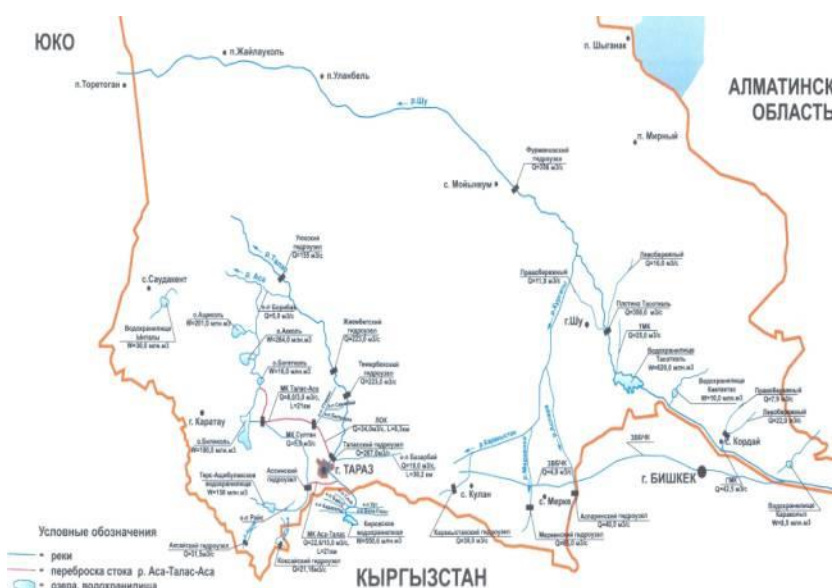


Рис. 1. Расположение водохозяйственных объектов республиканской собственности Жамбылской области [2]

Водное хозяйство области – одна из базовых отраслей, от успешного функционирования которой зависят стабильность экономики, уровень жизнеобеспечения населения и устойчивость природной среды. Развитие промышленности и сельского хозяйства требует все возрастающего вовлечения в хозяйственный оборот водных ресурсов. Уже сейчас на территории области ощущается нехватка воды, ухудшается ее качество, в связи с этим возникает необходимость совершенствования механизмов управления водными ресурсами, внедрения в водное хозяйство эффективных водосберегающих технологий. Водные ресурсы и отношения в сфере водопользования в совокупности составляют важный элемент и блок государственного управления в области использования и охраны природных ресурсов Республики Казахстан. Управление использованием и охраной водных ресурсов основывается на том, что они в соответствии с Конституцией РК используются и охраняются как основа жизни и деятельности народов, проживающих на соответствующей территории.

Реформы в экономике Республики Казахстан с ликвидацией крупных хозяйств (колхозов и совхозов), а также не разрешенные проблемы

вододеления на трансграничных водных объектах, обостряющиеся во время естественного маловодия, вызвали сложности в управлении водным хозяйством: многие сооружения остались без собственника и поддержки на их содержание. Водопользователи разрознены и отсутствует координация их деятельности по эксплуатации водохозяйственных систем. При отсутствии мер по содержанию оросительной сети в рабочем состоянии, многочисленные крестьянские и фермерские хозяйства самостоятельно планируют производство сельскохозяйственных культур без учета наличия водных ресурсов. В результате этого система водного хозяйства остается трудно управляемой, водопользователь не заинтересован в рациональном использовании воды, нет единой информационной базы о состоянии водохозяйственных систем и орошаемых земель [2].

Институциональные условия в водном секторе Казахстана определяются государственной политикой, направленной на обеспечение устойчивого управления водными ресурсами в условиях климатических изменений, роста населения и экономических нужд (в основном сельское хозяйство, которое потребляет около 80% воды). Основные рамки сформированы после административной реформы 2023 года, когда было создано Министерство водных ресурсов и ирригации (МВРИ) Республики Казахстан как уполномоченный орган по управлению водными ресурсами, ирригацией и гидротехническими сооружениями.

Водопользование, включая подачу воды на орошаемые земли в РК, регулируется комплексом законодательных и нормативных актов, которые устанавливают правила забора, использования, охраны водных ресурсов и распределения воды. Основные нормативы направлены на устойчивое управление, минимизацию потерь (до 50% в ирригационных системах) и адаптацию к климатическим вызовам.

Забор воды требует разрешения (лицензии) от бассейновых инспекций или МВРИ, с учетом водного баланса. Лимиты забора: определяются по бассейновым планам, зависят от сезонности и доступности (например, в засушливые годы 2023-2025 сокращение до 60-80% для ирригации в южных регионах). Запрещено несанкционированное использование (штрафы по ст. 364 Кодекса об административных правонарушениях: до 200 МРП для физлиц, до 1000 МРП для юрлиц). Для ирригации: нормативы потребления зависят от культуры и региона.

Порядок заключения договоров на водопользование Заявка подается в бассейновую инспекцию или РГП «Казводхоз» (онлайн через eGov.kz или лично). Указываются объем воды, цель (ирригация), участок, данные о земле. Документы для неё это право на землю (аренда/собственность), техпаспорт водозабора, расчет потребления, данные приборов водоучета, для юрлиц – учредительные документы.

Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Казводхоз» Комитета водного хозяйства Министерства водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан заключает договор с крестьянскими хозяйствами на оказание услуг по подаче поливной воды для орошения сельскохозяйственных культур. В Договоре используются следующие основные понятия: прибор учета – техническое средство, предназначенное для измерения объема воды, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и хранящее единицу физической величины в течение определенного интервала времени и разрешенное к применению для коммерческого учета в порядке,

установленном Законом Республики Казахстан от 7 июня 2000 года «Об обеспечении единства измерений». РГП «Казводхоз» управляет 7 000 км каналов, 300 насосными станциями и десятками водохранилищ. Ведутся работы по установке АСВУ (Автоматизированная система водоучёта), внедрению SCADA, созданию цифровых платформ и реализации пилотных проектов «умного орошения». Основные проблемы: недостаток финансирования, слабая интеграция с частными пользователями, отсутствие единых методик [3].

Ниже в таблице-1 показано, как осуществляется подача воды в других странах.

Таблица 1

Сравнительная таблица, как осуществляется подача воды и заключение договоров в России, Узбекистане и США

Страна	Кто подаёт воду	С кем заключается договор	Вид договора	Ключевые особенности
Россия	ФГБУ «Центррегионводхоз», другие ФГБУ – Водопользовательские объединения (ВО) – Частные поставщики	Сельхоз предприятия, фермеры	Договор водопользования- Договор аренды водного объекта – Договор услуг по подаче воды	Вариативность: может быть аренда, договор поставки или через ВО; учет по водомерам, акты водопользования
Республика Узбекистан	Государственные ирригационные сети – Ассоциации водопользователей (АВП)	Фермерские хозяйства	Договор поставки оросительной воды (в т.ч. через АВП)	Большая роль АВП; активная цифровизация: электронные заявки и распределение воды
США	Ирригационные округа (Irrigation Districts) – Частные кооперативы – Водные ассоциации	Члены кооператива, пайщики, фермеры	Контракт на поставку воды – Лицензия или water right	Частные и общественные модели; опора на систему водных прав, автономия округов, высокая роль самоуправления

В Российской Федерации подача поливной воды (ирригационной или технической воды для сельскохозяйственных нужд) регулируется Водным кодексом РФ (№ 74-ФЗ от 03.06.2006) и Постановлением Правительства РФ № 165 от 12.03.2008 «О подготовке и заключении договора водопользования». Поливная вода обычно предоставляется из поверхностных водных объектов (реки, каналы, водохранилища) через ирригационные системы, управляемые федеральными (Росводресурсы), региональными или местными органами (бассейновые водные управления, ирригационные компании).

В Республике Узбекистан Заключение договоров регулируется Водным кодексом РУз (№ ЗРУ-1043 от 30.12.2022), Положением о водопользовании (Постановление КМ № 82 от 19.03.2013) и Правилами услуг ВКХ (№ 194 от

15.07.2014). С 2023–2025 гг. внедряется система электронного водного заказа (через портал water.mw.uz). Например фермер подает заявку в АВП, та агрегирует объемы и подает в минводхоз.

Регулирование подачи воды на орошаемые земли в США осуществляется на федеральном уровне, уровне штатов и локальных округов, с учетом сложной системы водных прав и экологических стандартов.

В США фермеры платят взносы, получают годовые или сезонные лимиты, участвуют в управлении. Цены зависят от наличия воды (водный год), инфраструктурных затрат.

Нерациональное и неэффективное использование водных ресурсов. Основными факторами нерационального использования водных ресурсов являются:

- применение устаревших водоемких производственных технологий (способов орошения);
- высокий уровень потерь воды при транспортировке по земляным каналам;
- недостаточная степень оснащённости водозаборных сооружений системами учета воды;
- отсутствие эффективных экономических механизмов, стимулирующих бизнес к активному внедрению прогрессивных водосберегающих технологий производства, систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения и сокращению непроизводительных потерь воды.

Таблица 2

Нормативно-правовая база по цифровизации водоучёта и водораспределения в Республике Казахстан

Наименование документа	Ключевые положения, связанные с цифровизацией	Статус / год	Содержание и роль
1	2	3	4
Водный кодекс РК	Введение обязательных систем учёта и мониторинга водопользования, цифровая отчётность, интеграция с ГИС	Действует с 2025 года	Обязательный учёт, цифровая отчётность, интеграция с ГИС
Экологический кодекс РК	Требование внедрения НДТ(Наилучшие доступные технологии), автоматизация контроля сбросов и потребления воды, цифровые отчёты	Действует с 2021 года	Обязательное внедрение НДТ, цифровой контроль
Национальный проект «Жасыл Қазақстан»	Развитие цифровых водохозяйственных решений, внедрение «умной» инфраструктуры	Утверждён в 2021 году	Цифровизация, платформа hydro.gov.kz, «умная» инфраструктура
Госпрограмма по управлению водными ресурсами до 2030 года	Разработка цифровых платформ, дистанционный мониторинг, автоматизация каналов	Актуальна на 2025 г.	Автоматизация каналов, мониторинг, АСВУ

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Конвенция ЕЭК ООН (Европейская экономическая комиссия Организации Объединённых Наций) по трансграничным водотокам	Рекомендации по использованию НДТ и цифровых решений для водного контроля	Присоединение с 2000 г.	Укрепление цифровой среды, межведомственная интеграция
Методические рекомендации по НДТ (Миниэкологии РК)	Требования к автоматизации учёта, внедрение SCADA, IoT и телеметрии	В процессе актуализации	Используются для проверки цифровых датчиков

Международный опыт: Китайская модель включает автоматические станции мониторинга, централизованные платформы, ИИ и Big Data. Адаптация требует модернизации инфраструктуры, подготовки кадров, учёта местных условий. Проектирование и строительство автоматизированной системы мониторинга водной обстановки – это важный этап в обеспечении экологической безопасности, управлении водными ресурсами и предотвращении экологических катастроф. В Китае, учитывая масштабность и интенсивность использования водных ресурсов, эта система строится на базе современных технологий, таких как автоматические станции наблюдения, системы передачи данных и аналитические платформы. Основные компоненты системы включают:

1. Автоматические измерительные станции – оснащены датчиками для мониторинга параметров качества воды (уровень, температура, рН, содержание кислорода, наличие вредных веществ и т.д.).

2. Канал передачи данных – использование спутниковых, мобильных или радиоканалов для своевременной передачи данных в центральные серверы.

3. Центральный сервер и аналитические платформы – сбор, хранение и обработка данных, автоматическая генерация отчетов и сигнализация при обнаружении нарушений. 4. Интерфейсы для операторов – удобные системы визуализации данных, мониторинга в реальном времени и управленческих решений [9].

Сравнительный анализ правовой базы цифровизации водоучёта и водораспределения. В условиях глобального водного дефицита и климатических изменений страны усиливают правовое регулирование в сфере водопользования, включая цифровизацию водоучёта и водораспределения. В настоящем документе представлен сравнительный анализ нормативно-правовой базы Республики Казахстан, Российской Федерации, Республики Узбекистан и Соединённых Штатов Америки в области цифрового водного управления.

Таблица 3

Сравнительный обзор нормативно-правовой базы по странам

Критерий	Казахстан	Россия	Узбекистан	США
Базовый закон о воде	Водный кодекс РК 2025 г.	Водный кодекс РФ (2006 г.)	Закон «О воде и водопользовании» (ред. 2022 г.)	Clean Water Act (1972), Safe Drinking Water Act
SCADA / IoT / ГИС	Предусмотрены в госпрограммах (ГИС УВП, SCADA)	Применяются точно, без нормативной обязательности	Используются в проектах с международной поддержкой	Широко применяются, особенно в западных штатах
Правовой статус цифровых данных	Не полностью урегулирован	Требуется бумажная форма	Не всегда признаются доказательством	Признаются юридически значимыми
Интеграция с кадастрами	Планируется единая платформа	Разрозненные базы по ведомствам	Ограниченная интеграция	Интеграция через EPA, USGS, USDA
Трудности и барьеры	Методология, статус данных, нехватка кадров	Фрагментарность, несовместимость платформ	Финансирование, старая инфраструктура	Региональные различия, защита данных

Вопрос цифровизации водного хозяйства активно изучается как на международном, так и на национальном уровнях. В мировой практике особое внимание уделяется применению автоматизированных систем контроля и учёта воды, таких как SCADA, телеметрия, IoT и геоинформационные системы (ГИС). В частности, Китайская Народная Республика добилась существенного прогресса в создании централизованных платформ управления водными ресурсами, использующих искусственный интеллект и большие данные (Big Data) для прогнозирования и оптимизации водообеспечения.

В странах Центральной Азии, включая Казахстан, данная тематика начала активно развиваться с конца 2010-х годов. Исследования КазНИИ водного хозяйства, публикации Министерства экологии и водных ресурсов РК, а также проекты международных организаций (ADB, GIZ, FAO) подчёркивают необходимость законодательной и технической адаптации мировых практик к местным условиям.

В Казахстане ключевые научные и прикладные работы фокусируются на следующих аспектах:

- нормативное закрепление использования цифровых приборов учёта;
- внедрение пилотных проектов автоматизированного распределения воды (Жамбылская, Туркестанская области);
- разработка платформ гидроинформационного мониторинга;
- изучение барьеров для интеграции частных и государственных систем учёта.

Кроме того, в рамках программы «Цифровой Казахстан» были заложены основы для цифровизации водных ресурсов, однако потребовалась отдельная отраслевая стратегия, что и было реализовано через «Жасыл Қазақстан» и проект нового Водного кодекса.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В результате проведенного анализа нормативно-правовой базы установлено:

1. Существует целый комплекс документов, создающих предпосылки для цифровизации водоучёта и водораспределения: от Водного и Экологического кодексов до технических стандартов и национальных программ.

2. Проект нового Водного кодекса (2025) впервые делает цифровую отчётность и применение автоматизированных систем обязательными, что свидетельствует о переходе от рекомендательного подхода к нормативному.

3. В деятельности РГП «Казводхоз» уже реализуются элементы цифровизации – АСУВ, SCADA, однако существует нехватка единых методик, слабая интеграция с частными водопользователями, нехватка финансирования.

4. Сравнительный анализ с другими странами показал, что Казахстан движется в верном направлении, но отстаёт по юридической легитимации цифровых данных и институциональной интеграции. Особенно ярко выделяется США, где электронная отчётность и цифровые платформы давно признаны юридически значимыми.

5. Основные барьеры в реализации цифровизации включают: недостаточную нормативную детализацию, нехватку кадров, фрагментарность данных и несовершенную систему финансирования.

Таким образом, анализ нормативной среды подтвердил, что цифровизация водоучёта и водораспределения в Казахстане уже находится в активной стадии, но требует дальнейшего совершенствования законодательства, межведомственной координации, технической стандартизации и институциональной поддержки.

**Заключение.** Казахстан имеет богатый опыт в гидрологическом мониторинге и управлении водными системами, однако внедрение современных автоматизированных систем требует адаптации под местные условия – климатические особенности, инфраструктуру связи и технический потенциал. Для успешной реализации проекта в Казахстане важно провести предварительный анализ и модернизацию существующих систем, учесть специфические экологические и гидрологические особенности региона, а также обеспечить обучение персонала и поддержку системы. Цифровизация процессов водоучёта и водораспределения в Республике Казахстан представляет собой неотъемлемую часть модернизации водного сектора в условиях нарастающего водного дефицита и климатических изменений. Анализ нормативно-правовой базы показал наличие устойчивой законодательной основы для внедрения автоматизированных систем, однако на практике наблюдаются значительные трудности, связанные с методологической разрозненностью, слабой интеграцией цифровых платформ и недостатком институциональной координации.

Проект нового Водного кодекса, включающий требования цифрового учёта, отчётности и интеграции с геоинформационными системами, открывает путь к системной трансформации водного сектора. В то же время необходимо обеспечить признание цифровых данных в юридической практике, разработку единых технических и метрологических стандартов, а также укрепление кадрового потенциала отрасли.

Международный опыт, особенно китайская модель автоматизированного мониторинга, может быть эффективно адаптирован к казахстанским условиям при условии модернизации инфраструктуры и институциональной поддержки. Таким образом, для достижения устойчивого водопользования и эффективного управления ресурсами требуется

комплексный подход: нормативное закрепление цифровых решений, техническое перевооружение, развитие человеческого капитала и межведомственное сотрудничество.

#### Список литературы

1. Водный кодекс Республики Казахстан [Текст]: принят приказом № 178-VIII ЗРК от 9.04.2025. – [?].
2. Нурымбетов, А.У. К вопросу разработки информационной системы управления водными ресурсами [Текст] / А.У. Нурымбетов, Г.К. Сембина / ТарГУ им. М.Х. Дулати. – Тараз, 2013.
3. РГП «Казводхоз». Информация о подаче воды, тарифах и услугах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kazvodhoz.kz>.
4. Водный кодекс Российской Федерации [Текст]: принят приказом № 74-ФЗ от 3.06.2006. – М.: Проспект, 2023. – 112 с.
5. Веденеева, Л.А. Правовое регулирование использования водных объектов в сельском хозяйстве [Текст] / Л.А. Веденеева // Вестник ЮУрГУ. Серия: Право. – 2022. – № 1. – С. 114-120.
6. Ковальчук, И.П. Вопросы водоснабжения сельхозземель: опыт и тенденции [Текст] / И.П. Ковальчук, Н.В. Зайцева // Агроэкономика. – 2020. – № 3. – С. 45-51.
7. Водный кодекс Республики Узбекистан (ред. 2023 г.). – Ташкент: Юридическая литература, 2023. – 88 с.
8. Махмудов, А.Р. АВП как элемент водного управления [Текст] / А.Р. Махмудов // Водное хозяйство Узбекистана. – 2022. – № 2(128). – С. 23-30.
9. Тренинг по технологиям использования водных ресурсов и управления водной средой для Казахстана [Текст]. – 2025.
10. Постановление Правительства Республики Казахстан от 5 февраля 2024 года № 66 «Об утверждении Концепции развития системы управления водными ресурсами Республики Казахстан на 2024–2030 годы» [Текст]. – [?].
11. Министерство водных ресурсов и ирригации РК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/water?lang=ru>.

*Исследования выполнены в рамках проекта BR23791322 «Научно-техническое обеспечение сохранения, воспроизводства и эффективного распределения водных ресурсов для обеспечения водной безопасности РК», профинансированного МВРИ РК.*

*Материал поступил в редакцию 28.08.25, принят 27.09.25.*

**А.Б. Мадимарова<sup>1</sup>, Т.К. Иманалиев<sup>1</sup>, А.Н. Ермакбай<sup>1</sup>, А.М. Жакашов<sup>1</sup>, Б.С. Кали<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Қазақ су шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Тараз қ., Қазақстан

#### **СУДЫ ЕСЕПКЕ АЛУ ЖӘНЕ СУ БӨЛУ ПРОЦЕСТЕРІН ЦИФРЛАНДЫРУ ЖӨНІНДЕГІ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІНЕ НОРМАТИВТІК-ҚҰҚЫҚТЫҚ БАЗАНЫ ТАЛДАУ**

**Аңдатпа.** Мақала Қазақстан Республикасының суды есептеу мен суды бөледі цифрландыруды реттейтін нормативтік-құқықтық базасын талдауға арналған. Автоматтандырылған жүйелерді енгізуді қолдайтын заңнаманың негізгі ережелері, сондай-ақ саланың тиімді цифрлық трансформациясына кедергі келтіретін кедергілер анықталды. «Қазсушар» РМК-ның институционалдық рөлі және халықаралық тәжірибені қолдану әлеуеті қаралды. Заңнаманы жетілдіру және тұрақты су пайдалануды қамтамасыз ету бойынша ұсынымдар ұсынылды. Сондай-ақ Ресей Федерациясында, Өзбекстан Республикасында және Америка Құрама Штаттарында іске асырылатын цифрлық және су басқару саласындағы нормативтік және бағдарламалық тәсілдермен салыстырмалы талдау келтірілген.

**Тірек сөздер:** цифрландыру, су есептеу, су бөлу, Су кодексі, автоматтандыру.

A.B. Madimarova<sup>1</sup>, T.K. Imanaliev<sup>1</sup>, A.N. Yermekbay<sup>1</sup>, A.M. Zhakashov<sup>1</sup>, B.S. Kali<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazakh Scientific Research Institute of Water Management, Taraz, Kazakhstan

#### ANALYSIS OF THE REGULATORY FRAMEWORK FOR THE RESEARCH METHODOLOGY ON DIGITALIZATION OF WATER ACCOUNTING AND WATER DISTRIBUTION PROCESSES

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of the regulatory framework of the Republic of Kazakhstan governing the digitalization of water accounting and water distribution. Key provisions of legislation supporting the introduction of automated systems, as well as barriers that impede the effective digital transformation of the industry, have been identified. Institutional role of RSE "Kazvodkhoz" and potential of application of international experience are considered. Recommendations on improving legislation and ensuring sustainable water use were proposed. A comparative analysis is also given with regulatory and program approaches in the field of digital and water management implemented in the Russian Federation, the Republic of Uzbekistan and the United States of America.

**Keywords:** digitalization, water metering, water distribution, Water code, automation.

#### References

1. Vodnyy kodeks Respubliki Kazakhstan [Water Code of the Republic of Kazakhstan]: No. 178-VIII of April 9, 2025. – [?]. [in Russian].
2. Nurimbetov, A.U., Sembina, G.K. K voprosu razrabotki informatsionnoy sistemy upravleniya vodnymi resursami [On the development of an information system for water resources management] / Dulaty Taraz State University. – Taraz, 2013. [in Russian].
3. Kazvodkhoz State Enterprise. Information on water supply, tariffs and services [Electronic resource]. – Access mode: <https://kazvodhoz.kz>. [in Russian].
4. Vodnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii [Water Code of the Russian Federation]: No. 74-FZ of June 3, 2006. – Moscow: Prospekt, 2023. – 112 p. [in Russian].
5. Vedeneeva, L.A. Pravovoe regulirovanie ispolzovaniya vodnykh ob"ektov v selskom khozyaystve [Legal regulation of the use of water bodies in agriculture] // Bulletin of South Ural State University. Law Series. – 2022. – No. 1. – P. 114-120. [in Russian].
6. Kovalchuk, I.P., Zaytseva, N.V. Voprosy vodosnabzheniya selkhoz-zemel: opyt i tendentsii [Issues of irrigation water supply: experience and trends] // Agro-economics. – 2020. – No. 3. – P. 45-51. [in Russian].
7. Vodnyy kodeks Respubliki Uzbekistan (red. 2023 g.) [Water Code of the Republic of Uzbekistan (ed. 2023)]. – Tashkent: Legal Literature, 2023. – 88 p. [in Russian].
8. Makhmudov, A.R. AVP kak element vodnogo upravleniya [Water Users Associations as an element of water management] // Water Management of Uzbekistan. – 2022. – No. 2(128). – P. 23-30. [in Russian].
9. Trening po tekhnologiyam ispolzovaniya vodnykh resursov i upravleniya vodnoy sredoy dlya Kazakhstana [Training on technologies for the use of water resources and water environment management for Kazakhstan]. – 2025. [in Russian].
10. Postanovlenie Pravitelstva Respubliki Kazakhstan ot 5 fevralya 2024 goda No. 66 «Ob utverzhdenii Kontseptsii razvitiya sistemy upravleniya vodnymi resursami Respubliki Kazakhstan na 2024–2030 gody» [Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan of February 5, 2024 No. 66 "On approval of the Concept for the Development of the Water Resources Management System of the Republic of Kazakhstan for 2024–2030"]. – [?]. [in Russian].
11. Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.gov.kz/memleket/entities/water?lang=ru>. [in Russian].

МРНТИ 50.53.17

С.С. Кудрявцев<sup>1</sup> – основной автор, | ©  
П.В. Емелин<sup>2</sup>, В.Н. Козлов<sup>3</sup>



<sup>1</sup>Канд. биол. наук, доцент, <sup>2</sup>Д-р техн. наук, <sup>3</sup>Д-р биол. наук, профессор

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7232-6304> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-7431-0069>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-8935-298X>



<sup>1</sup>Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова,  
г. Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО «НАКС ГАЦ», г. Караганда, Казахстан

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и  
управления им. К.Г. Разумовского» Башкирский институт технологий и  
управления (филиал), г. Мелеуз, Российская Федерация

@

<sup>1</sup>[sk74\\_07@mail.ru](mailto:sk74_07@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/HDCU3082>

## АНАЛИЗ БАЗ ДАННЫХ О ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

**Аннотация.** Базы данных позволяют систематизировать и хранить информацию о произошедших авариях, что открывает значительные перспективы их использования для оценки риска повторения этих нежелательных событий. В данной работе проведён сравнительный анализ баз данных об авариях, произошедших на горнодобывающих предприятиях ведущих в данной отрасли стран. Проведённый анализ показал неоднородность информации, содержащейся в исследованных базах данных. Кроме того, во многих случаях объём информации, содержащейся в таких базах данных, не позволяет провести всеобъемлющий анализ причин произошедших аварий, выявить ключевые факторы риска. Это свидетельствует о необходимости унификации существующих баз данных, дополнение их параметрами, содержащими информацию о факторах риска развития чрезвычайных ситуаций в условиях горного производства. Целью статьи является сравнительный анализ существующих баз данных о техногенных чрезвычайных ситуациях на предприятиях горнодобывающей отрасли.

**Ключевые слова:** база данных, горнодобывающая отрасль, оценка риска, кластер критериальных параметров, охрана труда, промышленная безопасность, техногенная чрезвычайная ситуация.



Кудрявцев, С.С. Анализ баз данных о техногенных чрезвычайных ситуациях в горнодобывающей отрасли [Текст] / С.С. Кудрявцев, П.В. Емелин, В.Н. Козлов // Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.371-381. <https://doi.org/10.55956/HDCU3082>

**Введение.** Горнодобывающая отрасль, несмотря на внедрение передовых технологий, направленных на повышение уровня безопасности горного производства, продолжает занимать одну из лидирующих позиций по аварийности и уровню производственного травматизма. В таких индустриально развитых странах, как КНР и США, смертность от несчастных случаев (НС) в горнодобывающей промышленности стабильно высока, при

этом, несмотря на предпринимаемые усилия, нисходящего тренда этого показателя в течение последних лет не прослеживается [1,2].

Наиболее эффективный подход к решению проблем в области охраны труда и промышленной безопасности основывается на оценке рисков и включает в себя надзор со стороны государственных органов, модернизацию технологического оборудования, а также проведение исследований, направленных на выявление способов ограничения риска [3]. К таким способам также можно отнести мероприятия, направленные на обмен информацией и обучение персонала – как, например, в канадской провинции Онтарио, где в рамках аналитического обзора менеджмента охраны труда и промышленной безопасности в горной промышленности было рекомендовано повышать информированность работников горнодобывающих предприятий [4].

Современная стратегия предотвращения аварий в горнодобывающей отрасли в большей степени основывается на применении инженерных и технических средств с учётом влияния различных «стрессовых» сред, условий добычи на возникновение аварий. Однако, с точки зрения управления охраной труда, эти факторы являются лишь частью причин аварий, которые обычно называются «небезопасными условиями» в модели причин аварий. Судя по многочисленным авариям, некоторые причины являются достаточно распространёнными. Например, были ли приняты меры по предотвращению выбросов «четыре в одном», являются ли разумными меры, принятые для предотвращения маловероятных событий, является ли эффективным тест на эффект, отсутствует ли система управления безопасностью и т. п.

Целью анализа несчастного случая является определение его причины и применение полученного результата для его предотвращения. В прошлом анализ несчастных случаев в основном включал качественный анализ отдельных или типичных несчастных случаев [5]. Однако этот метод анализа причин несчастных случаев имеет некоторые ограничения, а именно:

- невозможно определить полный перечень причин несчастных случаев;
- невозможно определить вероятность возникновения каждой причины несчастного случая;
- невозможно проследить динамику процесса;
- сложный количественный анализ общей ситуации, приведшей к несчастному случаю;
- метод неэффективен для динамического анализа риска и прогнозирования;
- выполнение вероятностных расчетов, таких как обоснование причины несчастного случая, исследование риска и суждение, является сложным.

В эпоху больших данных использование моделей причин аварий для анализа аварий не может ограничиваться одной аварией [6]. Рассматривая десятки, сотни или даже большее количество аварий, анализ больших данных о причинах аварий, охватывающих несколько лет или даже десятилетий, может помочь в определении более полной причины аварии, что имеет решающее значение для предотвращения аварий. Однако исследования причин аварии с использованием модели причин аварий в качестве теоретического инструмента анализа и метода анализа больших данных

немногочисленны. В настоящее время применение метода исследования причин аварий в основном заключается в оценке уровня обучения технике безопасности и анализе рисков [7,8]. Применение искусственного интеллекта позволяет получить более полные и калиброванные по данным причины аварий. При этом результирующие пути аварий стали более сложными. Таким образом, важно проводить целенаправленный анализ данных для получения путей причин аварий с большим количеством контрольных значений. Однако было проведено относительно мало исследований по анализу путей аварий с использованием больших данных. В то же время жизненно важно более эффективное и точное изучение причин аварий для предотвращения аварий, проведения аварийно-спасательных работ и расследования аварий.

Аварии на предприятиях горнодобывающей отрасли имеют множество причин, а их контроль является важным элементом системы управления безопасностью производственных процессов. Проведя ретроспективный анализ аварий, произошедших за последние 10 лет, можно получить достаточно широкое представление о причинах аварий и вероятности их возникновения [9,10], что оказывает большую помощь в профилактике аварий. В современном управлении охраной труда необходимо не только понимать причины аварий и их вероятность, но и иметь всестороннее понимание процесса развития аварии, чтобы достичь запрограммированного управления этим процессом. С развитием компьютерных технологий и технологий интеллектуального анализа данных [11] изучение причинно-следственной связи между причинами несчастных случаев позволит более точно контролировать небезопасные действия работников, что будет способствовать снижению уровня производственного травматизма.

Gerassis et al. [12] обсудили применимость приложений искусственного интеллекта и методов интеллектуального анализа данных при расследовании несчастных случаев на производстве на горнодобывающих предприятиях Испании. В исследовании подчеркивалось, что для повышения уровня охраны труда и техники безопасности до целевого уровня вся статистическая информация на предприятиях должна собираться в базах данных, и эти данные должны быть изучены с использованием методов интеллектуального анализа данных.

При этом крайне важно обрабатывать и оценивать собранные данные, чтобы извлекать полезную информацию для горнодобывающей отрасли. Значимость сбора данных в этом случае бесспорна. В литературе имеется очень ограниченное количество исследований, в которых несчастные случаи на производстве в горнодобывающей отрасли изучаются с помощью методов сбора данных, анализируются основные причины несчастных случаев и обсуждаются меры предосторожности [13]. Подобные исследования помогают преодолеть недостаток анализа данных для подземной добычи подземных ископаемых, разработать методы анализа данных и спланировать стратегии, направленные на профилактику несчастных случаев на производстве.

Таким образом, разработка баз данных о произошедших на предприятиях горнодобывающей отрасли техногенных чрезвычайных ситуациях (ЧС), содержащих исчерпывающую информацию о сопутствующих им факторах, будет способствовать разработке более совершенных методик оценки апостериорного риска аварийности и производственного травматизма.

Целью статьи является сравнительный анализ существующих баз данных о техногенных чрезвычайных ситуациях на предприятиях горнодобывающей отрасли.

**Обзор и анализ научных исследований.** База данных, разработанная в США Институтом охраны труда и здоровья (NIOSH), содержит крупный раздел, посвящённый горнодобывающей промышленности. В нём содержатся сведения об авариях, произошедших на горнорудных предприятиях, расположенных на территории США с 1839 г. по настоящее время. В этой базе данных зарегистрированы только аварии, приведшие к гибели 5 и более человек. Приводятся следующие статистические данные об авариях с человеческими жертвами:

- количество погибших по отдельным округам и штатам;
- количество и процент смертельных случаев на производстве по классам несчастных случаев (например, от горных машин, при механизированной транспортировке, электротравмы, обвал горной породы, поскользывание или падение человека, падающие, катящиеся или скользящие камни или материалы и пр.);
- количество погибших в динамике по годам - как абсолютные значения, так и в расчёте на 100 сообщённых отработанных часов;
- количество смертельных случаев на горных работах с градацией по типу добываемого полезного ископаемого и статусу работника (штатный/подрядчик);

Об авариях, приведших к производственным травмам, приводятся следующие сведения:

- количество и уровень несмертельных травм с потерей трудоспособности – как абсолютные значения, так и в расчёте на 100 сообщённых отработанных часов;
- количество и уровень несмертельных травм с потерей трудоспособности с градацией по типу добываемого полезного ископаемого и статусу работника (штатный/подрядчик) – как абсолютные значения, так и в расчёте на 100 сообщённых отработанных часов;
- количество и процент несмертельных травм с потерей трудоспособности по классам несчастных случаев (например, от горных машин, при механизированной транспортировке, электротравмы, обвал горной породы, поскользывание или падение человека, падающие, катящиеся или скользящие камни или материалы и пр.);
- количество несмертельных травм с потерей трудоспособности по отдельным округам и штатам;
- количество несмертельных травм с потерей трудоспособности на горных работах с градацией по типу добываемого полезного ископаемого и статусу работника (штатный/подрядчик).

С целью проиллюстрировать, как повышение безопасности может помочь улучшить конечный результат, база данных позволяет провести экономический анализ, рассматривающий два направления:

- окупаемость мероприятий по безопасности в горнодобывающей промышленности: веб-приложение, показывающее стоимость травм на рабочих местах и предлагающее способы реинвестирования сэкономленных средств;
- материальный ущерб от смертельных несчастных случаев в горнодобывающей промышленности: веб-приложение, которое оценивает

общественную стоимость (бремя) отдельного смертельного случая на основе ключевых характеристик смертельно травмированного шахтера.

Данная база данных содержит следующую информацию о произошедших авариях:

- дата;
- название шахты;
- населённый пункт;
- штат;
- количество погибших;
- добываемое полезное ископаемое;
- тип аварии;
- тип предприятия (шахта/карьер);
- горнодобывающий сектор.

Отдельно в базе данных приведены статистика аварий на шахтах и количество погибших на одну аварию. Также проведено разделение аварий на шахтах по типу аварий, при этом используются статистические данные за весь период статистических наблюдений.

Таким образом, с точки зрения применимости в оценке рисков, к достоинствам данной базы данных можно отнести глубокий ретроспективный охват и изучение причин аварий. Недостатками является то, что аварии, приведшие к гибели менее 5 работников, в этой базе данных не регистрируются, что даёт недостоверную информацию, например, для составления дерева отказов. Также недостаточно глубокое изучение причин аварий при оценке риска не позволяет выявить, какой фактор был ведущим. Например, причиной смертельной электротравмы может стать как организационный, так и человеческий, или технический, или технологический факторы.

В ЮАР Департаментом минеральных ресурсов ежемесячно публикуются отчёты о профессиональном здоровье и безопасности [14]. В соответствии с Главой 23 Закона «О безопасности и гигиене труда на шахтах» (Закон 29 1996 года) с внесенными в него поправками, работодатели обязаны сообщать о несчастных случаях и опасных ситуациях, которые происходят на шахте, соответствующим региональным главным инспекторам шахт. Сбор подробных данных о каждой аварии на шахтах в ЮАР используется для исследований с целью повышения безопасности рабочих на южноафриканских шахтах.

База данных SAMRASS (система статистики несчастных случаев на шахтах Южной Африки) была создана в 1988 году после того, как Департамент минеральных ресурсов пересмотрел всю систему отчетности и ведения учета несчастных случаев.

В соответствии с Главой 23 Закона о безопасности и гигиене труда в шахтах 1996 года (Закон 29 от 1996 года), работодатели должны сообщать о несчастных случаях и опасных происшествиях на шахте Региональному главному инспектору шахт. Данные вносятся в Статистическую систему отчетности о несчастных случаях на шахтах Южной Африки или базу данных SAMRASS, из которой информация анализируется. Сбор информации производится как на уровне горнодобывающего предприятия, так и надзорного органа. В базу данных вносятся следующие сведения:

- количество погибших, травмированных и получивших полную потерю трудоспособности;

- время и дата аварии;
- информация о месте происшествия: участок, глубина ниже поверхности, название рабочего места;
- описание аварии или опасного происшествия;
- код классификации аварии;
- код классификации опасного происшествия;
- уточняется, произошел ли несчастный случай/опасное происшествие в течение рабочей смены или в сверхурочное время;
- указывается, произошел ли несчастный случай/опасное происшествие на обычном рабочем месте;
- среднее количество работающих в предыдущем месяце;
- лица, ответственные за безопасность и уровень их ответственности;
- сведения о работнике: Ф.И.О., паспортные данные, пол, дата рождения, страна рождения, национальность, социальное положение, профессия, стаж по профессии, был ли травмирован при выполнении обычных служебных обязанностей во время несчастного случая, дата начала работы у текущего работодателя, дата последней смены, дата возобновления работы или дата смерти (для смертельного несчастного случая);
- описание травмы: работа, при которой была получена травма, обстоятельства, при которых была получена травма, природа травмы, травмированная часть тела, тип травмы (смертельная, повреждение, полная утрата трудоспособности), продолжительность потери трудоспособности.

Несомненным достоинством БД SAMRASS является то, что сбор информации о случившейся ЧС осуществляется с учётом типа аварии, типа горных работ, особенностей горной породы. Для этого используются анкеты с соответствующими авариями и горному производству, на котором она произошла, вопросами.

В Австралии база данных Mining Accident Database содержит информацию о 152 авариях на предприятиях горнодобывающей отрасли, произошедших на территории страны с 1886 г. по настоящее время [15]. В базе данных содержатся государственные нормативно-правовые акты, регулирующие отношения в области промышленной безопасности и охраны труда на горнодобывающих предприятиях. Также эта БД содержит сведения о техногенных ЧС, произошедших на горнодобывающих предприятиях других стран. Однако эта информация имеет фрагментарный характер, а её источниками являются информационные агентства.

Штаты Австралии имеют отдельные базы данных, где содержится информация о произошедших на их территориях ЧС на горнодобывающих предприятиях. Так, например, в штате Квинсленд ежеквартально публикуются отчёты Инспекции по контролю за разработкой месторождений полезных ископаемых и карьеров [16]. В отчётах приводится информация о количестве проведённых инспекций и аудитов, их результатах, рейтинг опасностей горного производства, 5-летняя динамика аварий и несчастных случаев, результаты расследования ЧС, сведения об авариях на горнодобывающих предприятиях, произошедших в других странах мира. Отчёты содержат следующую информацию об аварии:

- количество погибших, травмированных и получивших полную потерю трудоспособности;
- время и дата аварии;
- информация о месте происшествия;

- описание обстоятельств, приведших к аварии;
- уточняется, произошел ли несчастный случай/опасное происшествие в течение рабочей смены или в сверхурочное время;
- указывается, произошел ли несчастный случай/опасное происшествие на обычном рабочем месте;
- лица, ответственные за безопасность и уровень их ответственности;
- сведения о работнике: Ф.И.О., пол, возраст, семейное положение, домашний адрес, профессия, стаж по профессии, был ли травмирован при выполнении обычных служебных обязанностей во время несчастного случая, дата начала работы у текущего работодателя, дата последней смены, дата возобновления работы или дата смерти (для смертельного несчастного случая);
- сведения о свидетелях аварии: ФИО, должность;
- описание травмы: работа, при которой была получена травма, обстоятельства, при которых была получена травма, природа травмы, травмированная часть тела, тип травмы (смертельная, повреждение, полная утрата трудоспособности), продолжительность потери трудоспособности;
- рекомендации по выполнению мероприятий, направленных на профилактику подобных аварий на предприятии.

К преимуществам БД, разработанных в Австралии, можно отнести большую ретроспективу изучения аварий. В то же время, информация об авариях большей частью представлена в виде результатов расследования аварий. Вместе с тем, представленная в таком виде информация требует систематизации, а её объём не всегда позволяет провести полноценную оценку апостериорного риска.

В Великобритании помимо БД, созданных государственными органами, также имеются и БД, созданные частными лицами и общественными организациями. Одной из них является «База данных Алана Билса о погибших в угольных шахтах» [17], в которой приводятся сведения об авариях в угольной отрасли с 1769 г. Данные о самых первых авариях имеют совсем небольшой объём: дата аварии, имя и возраст погибших, место аварии и её причина. О более поздних авариях в БД содержится более подробная информация:

- количество погибших;
- время и дата аварии;
- информация о месте происшествия;
- описание обстоятельств, приведших к аварии;
- уточняется, произошел ли несчастный случай/опасное происшествие в течение рабочей смены или в сверхурочное время;
- указывается, произошел ли несчастный случай/опасное происшествие на обычном рабочем месте;
- сведения о работнике: Ф.И.О., пол, возраст, домашний адрес, профессия, стаж по профессии, был ли травмирован при выполнении обычных служебных обязанностей во время несчастного случая, дата последней смены, дата смерти;
- сведения о свидетелях аварии: ФИО, должность;
- описание травмы: работа, при которой была получена травма, обстоятельства, при которых была получена травма, природа травмы, травмированная часть тела;
- результаты расследования аварии.

В отдельных административно-территориальных единицах Великобритании имеются БД об авариях на предприятиях горнодобывающей отрасли. Так, на Шотландском веб-сайте о горнодобывающей промышленности [18] приводятся сведения об авариях, произошедших на горнодобывающих предприятиях Шотландии с 1698 г. Описание первых ЧС, упомянутых в этой БД, содержит небольшой объём информации об обстоятельствах аварий: дата происшествия, ФИО и возраст пострадавших, название шахты и округа, где она находится. В данных об авариях, произошедших в более поздний период, указывается профессия погибших, причина их смерти, ссылка на источник информации.

В Перу Министерство энергетики и горнодобывающей промышленности с 2000 г. ежегодно публикует статистику о смертельных несчастных случаях в горнодобывающей промышленности [19]. В БД содержится информация о дате аварии, названии шахты и горнодобывающей компании, количестве жертв и их ФИО, статусе погибших работников (штатные/подрядчики), статусе компании, причинах полученных травм.

В Испании сбор данных об авариях на горнодобывающих предприятиях осуществляет Министерство труда и социальной экономики [20]. База данных содержит следующую информацию:

- возраст пострадавшего работника на момент несчастного случая;
- тип трудового договора (постоянный/временный, полный/неполный рабочий день);
- договорной статус: работник относится к штатному/подрядному персоналу;
- дата, день недели и время, когда произошёл несчастный случай;
- стаж пострадавшего по данной профессии;
- материальный агент (причинивший травму);
- тип физической активности, которую выполнял работник во время несчастного случая;
- система профилактической организации компании, к которой принадлежит пострадавший работник;
- наличие аномального события непосредственно перед аварией;
- провела ли компания оценку риска на рабочем месте, где произошел несчастный случай (да/нет);
- количество работников в центре горнодобывающих работ, где произошел несчастный случай;
- количество часов, отработанных работником до несчастного случая.

В Казахстане специальная БД об авариях на горнодобывающих отсутствует, но данная информация может быть получена из открытого источника на портале «Открытые данные» «электронного правительства» Республики Казахстан [21]. На данном портале содержится информация об авариях на всех опасных производственных объектах, расположенных на территории страны. БД содержит следующие сведения:

- наименование организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, её адрес;
- ИИН/БИН;
- её код по «Классификатору административно-территориальных объектов»;
- вид неблагоприятного происшествия, возникшего по вине субъекта (объекта) контроля и надзора (инцидент, авария, несчастный случай, или

происшествия связанные с утратой взрывчатых веществ и изделий на их основе);

- время и дата происшествия, его краткие обстоятельства и причины;
- отчётный период (квартал и год).

Таким образом, проведённый анализ существующих БД об авариях на предприятиях горнодобывающей промышленности показал неоднородность хранящейся в них информации. Это значительно затрудняет анализ данных, поиск закономерностей, определяющих развитие тех или иных ЧС в условиях горного производства. В исследованных БД внимание, как правило, уделяется показателям, определяющим роль человеческого фактора в произошедшей аварии. При этом показателей, характеризующих роль организационных, технических и технологических факторов в случившейся аварии явно недостаточно для того, чтобы в последствие достоверно произвести оценку всех факторов риска.

В этой связи рекомендуется унифицировать форму сбора информации об авариях и инцидентах на горнодобывающих предприятиях. Вместе с этим необходимо более подробно представить в БД показатели, характеризующие организационные, технические и технологические факторы, приведшие, или способные привести к аварии.

**Заключение.** Проведённый анализ баз данных, разработанных в Республике Казахстан и странах, занимающих лидирующие позиции в горнодобывающей отрасли, показал, что очень часто аварии, произошедшие на горном производстве, не дифференцированы от аварий, произошедших в других отраслях. Базы данных содержат разный объём информации о ЧС, и, как правило, этого объёма недостаточно для проведения полноценной оценки риска, связанного с функционированием горнодобывающего предприятия.

В существующих БД в большей степени отражён человеческий фактор, способный повлиять на возникновение ЧС на горнодобывающем предприятии, тогда как организационным, техническим и технологическим факторам внимания уделено намного меньше. В частности, для объективной оценки риска БД должны содержать результаты расследования аварий, что позволит определить вклад той или иной группы факторов в развитие ЧС.

Наиболее перспективным направлением дальнейшего развития БД об авариях на горнодобывающих предприятиях видится унификация содержащихся в них показателей и интеграция с аналитическим блоком, позволяющим выявлять закономерности в развитии ЧС, оценивать и анализировать риски и предлагать наиболее эффективные предприятия по снижению и смягчению риска.

#### Список литературы

1. Xuecai, X., Xueming, S., Gui, F. et al. Accident causes data-driven coal and gas outburst accidents prevention: Application of data mining and machine learning in accident path mining and accident case-based deduction // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2022. – № 6. – P. 891-913.
2. U.S. Department of Labor. Mine Safety and Health Administration. 2024. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://arlweb.msha.gov/stats/charts/combined.php>. Date of access: 22.06.2025.
3. World Bank. A Sourcebook for Understanding the Extractive Industries. 2017. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://dx.doi.org/10.1596/978-0-8213-9658-2>. Date of access: 14.07.2025.
4. Ministry of Labour of Ontario. Health and Safety Hazards. 2015. – [Electronic resource]. – Access mode:

- <https://www.labour.gov.on.ca/english/hs/pubs/miningfinal/hazards.php>. Date of access: 14.07.2025.
5. Misuri, A., Cruz, A. M., Park, H. et al. Technological accidents caused by floods: The case of the Saga prefecture oil spill, Japan 2019 // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. – 2022. – Vol. 66. – 102634.
  6. Ge, J., Xu, K., Zheng, K. et al. The main challenges of safety science // *Safety Science*. – 2019. – Vol. 111. – P. 119–125.
  7. Halabi, Y., Xu, H., Chen, Y. et al. Causal factors and risk assessment of fall accidents in the U.S. construction industry: A comprehensive data analysis (2000–2020) // *Safety Science*. – 2022. – Vol. 146. – 105537.
  8. Chen, Ch., Ping, Sh., Zhang, X., Yi, Y. Transfer study of safety training based on mapping knowledge domain – Overview, factors and future // *Safety Science*. – 2022. – 105678.
  9. Grant, E., Salman, P. M., Stevens, N. J. et al. Back to the future: What do accident causation models tell us about accident prediction? // *Safety Science*. – 2018. – Vol. 104. – P. 99-109.
  10. Ge, J., Zhang, Y., Xu, K. et al. A new accident causation theory based on systems thinking and its systemic accident analysis method of work systems // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2022. – Vol. 158. – P. 644-660.
  11. Cui, X., Zhang, M., Pan, W. Dynamic probability analysis on accident chain of atmospheric tank farm based on Bayesian network // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2022. – Vol. 158. – P. 146-158.
  12. Gerassis, S., Saavedra, A., Taboada, J. et al. Differentiating between fatal and non-fatal mining accidents using artificial intelligence techniques // *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. – 2020. – Vol. 34. – P. 687-699.
  13. Altindish, B., Bayram, F. Data mining implementations for determining root causes and precautions of occupational accidents in underground hard coal mining // *Safety and Health at Work*. – 2024. – № 4. – P. 427-434.
  14. Department of Mineral Resources. Republic of South Africa. Mine accidents and disasters. 2025. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.dmre.gov.za/mineral-resources/mine-health-and-safety/mine-accidents-and-disasters>. Date of access: 24.06.2025.
  15. Mining Accident Database. Mine Accidents and Disasters. 2025. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.mineaccidents.com.au/mine-events/all/au>. Date of access: 26.06.2025.
  16. The State of Queensland. Mines Inspectorate incident periodicals and quarterly reports. 2025. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.business.qld.gov.au/industries/mining-energy-water/resources/safety-health/mining/accidents-incidents-reports/serious-accidents>. Date of access: 26.06.2025.
  17. Taylor, F., Beales, A. Database of Fatalities in the Coal Fields. 2025. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.healeyhero.co.uk/rescue/Fatalities/Alan-Beales-Database.html>. Date of access: 28.06.2025.
  18. Scottish Mining Website. Accidents and Disasters. 2025. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.scottishmining.co.uk/5.html>. Date of access: 29.06.2025.
  19. Ministerio de Energía y Minas. Estadísticas de accidentes mortales en el sector minero. 2025. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4646331-estadisticas-de-accidentes-mortales-en-el-sector-minero>. Date of access: 01.07.2025.
  20. Sanmiquel, L., Rossell, J. M., Bascompta, M. et al. Data mining of accidents in Spanish underground mines in the period 2003–2021 caused by a collision with a moving object // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10. – № 2. – e24716.
  21. The Government of the Republic of Kazakhstan. Open data. 2018. – [Electronic resource]. – Access mode: [https://data.egov.kz/datasets/view?index=kauipti\\_ondiristik\\_obektilder10](https://data.egov.kz/datasets/view?index=kauipti_ondiristik_obektilder10). Date of access: 12.07.2025. [in Russian].

*Материал поступил в редакцию 22.07.25, принят 27.09.25.*

С.С. Кудрявцев<sup>1</sup>, П.В. Емелин<sup>2</sup>, В.Н. Козлов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,  
Қарағанды қ., Қазақстан

<sup>2</sup>ЖШС «ДӨБҰАК БАО», Қарағанды қ., Қазақстан

<sup>3</sup>К.Г. Разумовский атындағы Мәскеу мемлекеттік технологиялар және басқару университеті, Башқұрт технологиялар және басқару институты (филиал),  
Мелеуз қ., Ресей Федерациясы

#### ТАУ-КЕН ӨНДІРУ САЛАСЫНДАҒЫ ТЕХНОГЕНДІК ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАР ТУРАЛЫ ДЕРЕКТЕР БАЗАСЫН ТАЛДАУ

**Аңдатпа.** Деректер базасы болған авариялар туралы ақпаратты жүйелеуге және сақтауға мүмкіндік береді, бұл осы жағымсыз оқиғалардың қайталану тәуекелін бағалау үшін оларды пайдаланудың елеулі перспективаларын ашады. Бұл жұмыста осы саладағы жетекші елдердің тау-кен өндіру кәсіпорындарында болған авариялар туралы деректер базасына салыстырмалы талдау жүргізілді. Жүргізілген талдау зерттелген дерекқордағы ақпараттың біртекті еместігін көрсетті. Бұдан басқа, көптеген жағдайларда мұндай дерекқорлардағы ақпараттың көлемі болған авариялардың себептеріне жан-жақты талдау жүргізуге, тәуекелдің негізгі факторларын анықтауға мүмкіндік бермейді. Бұл қазіргі дерекқорларды біріздендіру, оларды тау-кен өндірісі жағдайында төтенше жағдайлардың даму қаупі факторлары туралы ақпаратты қамтитын параметрлермен толықтыру қажеттігін куәландырады. Мақаланың мақсаты тау-кен өндіру саласындағы кәсіпорындардағы техногендік төтенше жағдайлар туралы қолда бар дерекқорларды салыстырмалы талдау болып табылады.

**Тірек сөздер:** деректер базасы, тау-кен өндіру саласы, тәуекелді бағалау, критериялды параметрлер кластері, еңбекті қорғау, өнеркәсіптік қауіпсіздік, техногендік төтенше жағдай.

S.S. Kudryavtsev<sup>1</sup>, P.V. Yemelin<sup>2</sup>, V.N. Kozlov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

<sup>2</sup>“NAKS GAC” LLP, Karaganda, Kazakhstan

<sup>3</sup>K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management, Bashkir Institute of Technology and Management (branch), Meleuz, Russian Federation

#### ANALYSIS OF MAN-MADE EMERGENCY DATABASES IN THE MINING INDUSTRY

**Abstract.** Databases allow users to systematize and store information about past accidents, offering significant potential for assessing the risk of recurrence of such undesirable events. This paper presents a comparative analysis of accident databases from mining enterprises in leading countries within the industry. The analysis revealed inconsistencies in the information contained in the studied databases. Moreover, in many cases, the available data are insufficient for a comprehensive analysis of accident causes and the identification of key risk factors. These findings highlight the need to standardize existing databases and supplement them with parameters that include information on risk factors contributing to technological emergencies in mining operations. The aim of this article is to conduct a comparative analysis of existing databases on man-made emergencies in the mining sector.

**Keywords:** database, mining industry, risk assessment, cluster of criterion parameters, occupational safety, industrial safety, man-made emergency.

FTAMP 87.33.33

А.А. Рахимберлина<sup>1</sup> – негізгі автор, ©  
С.С. Кудрявцев<sup>2</sup>, П.В. Емелин<sup>3</sup>, М.Т. Курбанов<sup>4</sup>



<sup>1</sup>Докторант, <sup>2</sup>Биол. ғылым. канд., доцент, <sup>3</sup>Техн. ғылым. д-ры,  
<sup>4</sup>Техн. ғылым. канд., доцент

ORCID

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-5310-5944> <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-7232-6304>  
<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-7431-0069> <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-2526-9527>



<sup>1,2</sup>Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,  
Қарағанды қ. Қазақстан  
<sup>3</sup>ЖШС «ДӨБҰАК БАО», Қарағанды қ. Қазақстан  
<sup>4</sup>Бұхара инженерлік-технологиялық институты,  
Бұхара қ. Өзбекстан Республикасы

@

<sup>1</sup>[altuwa1986@mail.ru](mailto:altuwa1986@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/FPFM8417>

## СУДЫ ТАЗАРТУДЫ ЖҮЗЕГЕ АСЫРАТЫН ХИМИЯЛЫҚ ҚАУІПТІ ОБЪЕКТИДЕГІ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІПТІ БАҒАЛАУ

**Аңдатпа.** Суды дайындаудың технологиялық процесі суды хлорлауды жүзеге асыратын өндірістік объектілердің химиялық қауіпті мәртебесін анықтайтын күшті уландырғыш және экотоксикант болып табылатын хлорды пайдаланумен байланысты. Зерттеудің мақсаты суды хлорлауды өндіретін химиялық қауіпті объектідегі техногендік төтенше жағдайға байланысты экологиялық тәуекелді бағалаудың өзіндік әдістемесін сынақтан өткізу болып табылады. Зерттеу барысында сараптамалық бағалау әдісіне негізделген экологиялық тәуекелді бағалау әдістемесі қолданылды. Экологиялық тәуекел деңгейі химиялық қауіпті объектінің экологиялық қауіптілігі мен қоршаған ортаның осалдығы көрсеткіштерінің арақатынасы бойынша бағаланды. Бұл әдістемені қолдану химиялық қауіпті объектілердің маңындағы аумақты экологиялық қауіп деңгейіне қарай ғылыми негізделген аймақтарға бөлуге мүмкіндік береді. Хлор ыдысынан 200 м қашықтықта орналасқан жердегі қоршаған орта объектісі үшін тәуекел деңгейі төмен деп бағаланды, бұл, ең алдымен, зерттелетін объектідегі еңбекті қорғауды басқару жүйесінің тиімді жұмысымен және қоршаған ортаның осалдығының төмен деңгейімен байланысты.

**Тірек сөздер:** химиялық қауіпті объект, авариялық химиялық қауіпті зат, экологиялық қауіпсіздік, хлор, экологиялық қауіп, тәуекелді бағалау, сараптамалық бағалау әдісі.



Рахимберлина, А.А. Суды тазартуды жүзеге асыратын химиялық қауіпті объектідегі экологиялық қауіпті бағалау [Мәтін] / А.А. Рахимберлина, С.С. Кудрявцев, П.В. Емелин, М.Т. Курбанов //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2025. – №3(89). – Б.382-391. <https://doi.org/10.55956/FPFM8417>

**Кіріспе.** Су дайындау станциясы бастапқы суды тұрмыстық және өнеркәсіптік пайдалануға дайындаудың маңызды нысаны болып табылады. Қазақстан Республикасында ауыз су алудың ең көп таралған технологиясы хлорлау болып табылады. Хлор әдетте суды дезинфекциялау және бактерияларды, вирустарды және басқа микроорганизмдерді жою үшін су

тазарту станцияларында хлорлау процесінде қолданылады. Бұл халықты су арқылы таралатын аурулардың өршуінен қорғау үшін қажет технологиялық процестің негізгі компоненттерінің бірі [1].

Сонымен қатар, хлор жоғары реакциялық және коррозиялық белсенділікке ие [2]. Хлордың жоғары уыттылығы оның ауадағы салыстырмалы түрде төмен концентрацияда да тірі организмдердің өліміне және су ортасына енген кезде улы қосылыстардың пайда болуына әкелу қабілетімен көрсетілген [3].

2022 жылы 27 маусымда Иорданияның Акаба портында 25 тонналық цистернадан хлордың ағып кетуіне байланысты үлкен апат орын алып, 13 адам қаза тауып, 260 адамға улану диагнозы қойылды [4]. Бұл оқиға хлордың қауіпті жағдайда туындауы мүмкін ауыр зардаптарын көрсетеді, бұл химиялық қауіпті объектілерде (ХҚО) авариялық химиялық қауіпті заттардың (АХҚЗ) айналымына байланысты тәуекелдерді бағалау әдістемелерін әзірлеуді өзекті етеді.

Осы бағыттағы көптеген соңғы әзірлемелер хлормен байланысты оқиғаларды, соның ішінде олардың қоршаған ортаға әсерін және олардың негізгі себептерін талдауды мұқият зерттеуді қамтиды. Мұндай апаттарды тергеу кезінде негізгі себептер жүйелі түрде анықталады және жіктеледі, бұл алдын алу шаралары мен ықтималдықты зерттеуді сәтсіздіктерді талдау ағашы мен оқиғаларды талдау ағашын қолдану арқылы біріктіруге мүмкіндік береді [5]. Сонымен қатар, зерттеулер сәтсіздіктерді талдау ағашы сияқты жеткілікті сенімді әдістер болжамның дәлдігін арттырып, тәуекелдерді азайту стратегияларын жақсарту алатын келесі сандық деңгейге өтудің маңыздылығын көрсетеді [6]. Сәтсіздіктерді талдау ағашы жүйенің дизайнын жақсарту және сәтсіздік қаупін азайту мақсатында сәтсіздіктердің себептерін түсіну үшін қолданылады. Бұл әдістеме жүйенің сенімділігін арттыру үшін маңызды болып табылатын сәтсіздік ықтималдығын талдау үшін сапалық және сандық тәсілдерді қоса алғанда, әртүрлі әдістер мен құралдарды пайдаланады [7].

Сәтсіздіктерді талдау ағашы жүйелердің қалай істен шығуы мүмкін екеніне және осы сәтсіздіктердің пайда болу ықтималдығына назар аударады. Бұл әдісте негізгі сәтсіздіктер мен олардың себептері айқын көрсетілген, бұл жүйенің жалпы сәтсіздік ықтималдығын болжауды жеңілдетеді [8, 9]. Сонымен қатар, зерттеушілер алдын алу және азайту шараларын қарастырған кезде апаттардың негізгі себептерінен туындаған салдарды (сәтсіздіктерді талдау ағашымен анықталған) зерттеу үшін оқиғаларды талдау ағашын пайдаланады [10].

Зерттеуде Renjith et al. [11] істен шығуды талдау ағашы хлор-негіз өнеркәсібінің қоймалары мен құю пункттерінен хлордың шығарылу ықтималдығын бағалау үшін пайдаланылды. Бұл әдіс ықтимал қауіптерді анықтауға, атап айтқанда, осындай оқиғаға әкелуі мүмкін барлық ықтимал себептер мен сәтсіздіктерді картаға түсіру арқылы хлордың бөлінуіне құрылымдық тәсілді қамтамасыз етті. Кумар мен Сингх [12] бұл әдісті хлормен байланысты оқиғаларды талдау үшін де қолданды, дегенмен бұл тәсілдің айырмашылығы сарапшылардың пікірлерін біріктіру және сәтсіздік ықтималдығын есептеу үшін  $\alpha$ -кесінді аралықтарына негізделген ұқсастықты біріктіру әдісін қолдану болды. Бұл зерттеуден айырмашылығы, сәтсіздіктерді талдау ағашы сәтсіздік ықтималдығын бағалаумен шектелмейді, бірақ әрбір ықтимал оқиғаның салдарын бағалайды, ал

оқиғаларды талдау ағашындағы нәтижелер елеусізден ауыр зардаптарға дейін өзгеруі мүмкін [5].

Экологиялық тәуекелді бағалауға қатысты жоғарыда қарастырылған әдістерді қолдану апаттық жағдайдың ықтималдығын анықтауға мүмкіндік береді, ал АХҚЗ (хлордың) қасиеттері мен қоршаған ортаның осалдығы сияқты маңызды факторлар ескерілмейді.

Ғылыми жұмыстарға жүргізілген талдау зерттелетін мәселенің бөлшектеніп зерттелгенін көрсетті. Соңғы онжылдықта көптеген мақалалар жарияланды, зиянды заттардың физикалық-химиялық [13, 14] және экотоксикологиялық [15] қасиеттерін, қоршаған ортаның осалдығын [16, 17], химиялық кәсіпорындардағы апаттардың себептерін және апатқа әсер ететін факторларды жеке қарастыратын бірқатар әдістер әзірленді [18]. Алайда, оларды түпнұсқа түрінде пайдалану қоршаған ортаға қауіп-қатерді объективті және жан-жақты талдауға мүмкіндік бермейді, өйткені оның кейбір аспектілері зерттелмеген күйінде қалады.

Жүргізілген зерттеудің бірқатар ерекшеліктерін ескере отырып, АХҚЗ қоршаған ортаға авариялық әсер ету қаупін бағалау үшін авторлар әзірлеген әдіснамалық тәсілді қолдану орынды болып көрінеді [19]. Сонымен қатар, бұл химиялық, экологиялық және өнеркәсіптік қауіпсіздік тұрғысынан АХҚЗ апаттық шығарылуымен байланысты экологиялық тәуекелге кешенді талдау жүргізуге мүмкіндік береді.

Зерттеудің мақсаты суды хлорлауды өндіретін химиялық қауіпті объектіде техногендік төтенше жағдайға (ТЖ) байланысты экологиялық тәуекелді бағалаудың өзіндік әдістемесін сынақтан өткізу болып табылады.

**Зерттеу шарттары мен әдістері.** Қолданылған әдістеде ең пессимистік сценарий бойынша орын алған бейбіт уақыттағы ТЖ қарастырылады [20]. Бұл сценарий хлормен толтырылған ең үлкен резервуардың толық жойылуын білдіреді, бұл оның толық ағып кетуіне әкеледі [21], бұл қоршаған ортаға ең зиянды әсер.

Апат туралы объективті мәліметтер базасының болмауы, сонымен қатар экологиялық зардаптардың жиілігі мен ауырлығын анықтайтын көптеген салыстыруға келмейтін факторлар және қоршаған ортаның осалдығы сараптамалық бағалау әдісін қарастырылып отырған әдістеде қолдануды өзекті етеді. Бұл әдістің мәні сарапшылардың пікірлері мен болжамдарын ұйымдасқан түрде жинау, содан кейін алынған жауаптарды өңдеу және нәтижелерді қалыптастыру болып табылады. Зерттеу тобы сараптамалық зерттеудің пәндік саласы мен мақсатын анықтады. Сараптамалық сауалнаманың мақсаты критериялды параметрлердің тізбесін, олардың әсер ету дәрежесін және ХҚО-дегі техногендік сипаттағы ТЖ экологиялық салдарын бағалау үшін олардың мәндерінің маңыздылығын анықтау болды.

Экологиялық тәуекел деңгейі ХҚО-дің экологиялық қауіптілігі мен қоршаған ортаның осалдығы көрсеткіштерінің арақатынасы бойынша бағаланды. ХҚО-дің экологиялық қауіптілік көрсеткіші апаттың орын алу ықтималдығы белгіленген критерийлер бойынша сандық түрде өлшенеді. Қоршаған ортаның осалдығының көрсеткіші техногендік төтенше жағдайдың әсер етуші факторы әсер еткен кезде оның экологиялық сенімсіздік дәрежесін сипаттайды.

Осы көрсеткіштерді анықтаудың егжей-тегжейлі әдістемесі бұрын жарияланған жұмыстарда келтірілген [19,22].

**Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау.** Зерттелетін су алу елді мекеннен тыс оқшауланған жер учаскесінде орналасқан. Бұл ХҚО-ның мақсаты-артезиан ұңғымасынан тұщы су алу және оны құбыр арқылы соңғы тұтынушыларға – Теміртау қ. тұрғындарына және металлургия комбинатының өндірістік объектілеріне тұрмыстық және техникалық мақсаттар үшін жеткізу. Суды хлорлау хлорды контейнерден беру арқылы жүзеге асады, ал судағы хлордың концентрациясын оператор бақылайды және соңғы өнімге қойылатын санитарлық-гигиеналық талаптарға байланысты өзгеруі мүмкін.

ХҚО қауіптілік көрсеткішін анықтау үш кластерге біріктірілген факторлардың жиынтық әсерін анықтаудан тұрады: физика-химиялық, токсикологиялық қасиеттердің критериялды параметрлерінің және химиялық қауіпті заттардың саны кластері; кәсіпорында қолданылатын жабдықтың критериялды параметрлерінің кластері; кәсіпорында жұмыс істейтін персоналдың критериялды параметрлерінің кластері.

1-кестеде физика-химиялық, токсикологиялық қасиеттердің критериялды параметрлері және АХҚЗ саны кластеріне кіретін критериялды параметрлердің балдық бағалары көрсетілген.

#### Кесте 1

Физика-химиялық, токсикологиялық қасиеттерінің көрсеткіштері және АХҚЗ саны бойынша бағалау нәтижелері

Критериялды параметрдің атауы	Ұпайлар
Ұшпалылық	1
Топырақтағы ұтқырлық (тығыздық / тұтқырлық қатынасы)	5
Ұтқырлық (суда ерігіштігі бойынша)	4
Тұрақтылық (жартылай ыдырау кезеңі $BIOWIN_3$ )	1
Биоаккумуляция ( $\log K_{ow}$ )	1
Жедел уыттылық (LC / EC50)	5
Созылмалы уыттылық (NOEC)	5
Сақтау көлемі	1
<b>БАРЛЫҒЫ</b>	<b>23</b>

Хлор жеткізілетін құбырлардың жалпы ұзындығы 120 м құрайды. Барлық жабдықтар техникалық жарамды күйде, барлық қажетті жөндеу жұмыстары белгіленген мерзімдерге сәйкес жүргізіледі, бұл кәсіпорынның апатсыз жұмыс істеуін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Негізгі құралдардың тозу коэффициенті 0,01-ден аспайды, негізгі құралдарды ауыстыру коэффициенті – 0,95-тен асады.

Суды хлорлау өнімділігі 0-4 кг/сағ (1,262 м<sup>3</sup>/сағ дейін) хлоратордың көмегімен жүзеге асырылады. Хлор 1000 л сыйымдылығы бар арнайы контейнерде сақталады және беріледі. Технологиялық процесте автоматты өшіру клапандарының болуы қарастырылмаған. Сонымен қатар, бұл технологиялық желі ауадағы хлор концентрациясының жоғарылау датчиктері анықталған жағдайда хлордың берілуін блоктауға мүмкіндік беретін газ талдағыштар жүйесімен жабдықталған. Бұл ХҚО хлорды оқшаулау құралдарының барлық қажетті спектрін, соның ішінде нөсер кәрізін, сілтілі ерітінділерді пайдаланады.

ХҚО-нің барлық қызметкерлері технологиялық жабдықты қауіпсіз пайдалану ережелеріне, химиялық апат болған жағдайда іс-қимылдарға үнемі және уақтылы оқытылады. Кәсіпорындағы технологиялық процесс тәулік

бойы жүзеге асырылады. Операторлардың еңбек және демалыс режимі – тәулік екі күн сайын. Объектінің қауіпсіз жұмыс істеуіне бағытталған нұсқаулықтарды қайта қарау қолданыстағы нормативтерге сәйкес жүзеге асырылады. Барлық қажетті құжаттар толық көлемде бар. Технологиялық процесс автоматты бақылау және мониторинг құралдарымен жабдықталған. Профилактикалық жұмыстар мен жөндеу жұмыстарының сапасы жақсы.

Технологиялық жабдықты пайдалануға және оның қауіпсіз жұмыс істеуіне жауапты ХҚО персоналының сауалнамасының нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2

Зерттелетін су алудың технологиялық жабдықтары мен персоналының көрсеткіштері бойынша бағалау нәтижелері

Қолданылатын жабдық бойынша	
Критериалды параметрдің атауы	Ұпайлар
АХҚЗ тасымалдайтын құбыр жүйелерінің ұзындығы, м	3
Негізгі құралдардың тозу коэффициенті, үлесі	1
Негізгі құралдарды ауыстыру коэффициенті, үлесі	1
Сорғылардың (компрессорлардың) өнімділігі, м <sup>3</sup> /сағ	1
Объектідегі АХҚЗ сақтауға арналған резервуарлардың саны, дана	1
Автоматты жапқыш клапандарының болуы	1
Окшаулау құралдарының болуы	1
<b>БАРЛЫҒЫ</b>	<b>9</b>
Жұмыс істейтін персонал бойынша	
"Қауіпті өндірістік объектілердегі өнеркәсіптік қауіпсіздік" курсы бойынша оқудан өткен ХҚО қызметкерлерінің саны / біліктілікті арттыру (есепті кезеңде), %	1
Өндірістің апатсыз жұмыс істеуіне бағытталған ұйымдастыру іс-шараларын жүргізу	2
<b>БАРЛЫҒЫ</b>	<b>3</b>

1 және 2-кестелерде берілген деректерді пайдалана отырып, одан 200 м қашықтықта орналасқан жер учаскесі үшін зерттелетін су қабылдағышта бар АХҚЗ (хлор) [19,22] үшін экологиялық қауіптілік көрсеткішін (ЭҚК) анықтаймыз:

$$\begin{aligned} \text{ЭҚКі} &= (0,05 \cdot (1 + 4 + 1) + 0,04 \cdot 5 + 0,06 \cdot (1 + 5) + 0,12 \cdot 5 + 0,17 \cdot 1) + \\ &+ (0,037 \cdot 3 + 0,035 \cdot 1 + 0,025 \cdot 1 + 0,03 \cdot (1 + 1) + 0,033 \cdot 1 + 0,04 \cdot 1) + \\ &+ (0,07 \cdot 1 + 0,1 \cdot 1) = 2,104 \end{aligned}$$

Химиялық қауіпті объектінің экологиялық қауіптілік көрсеткішінің есептелген мәні [19,22] химиялық қауіпті объектінің экологиялық қауіптілігінің орташа дәрежесіне сәйкес келеді.

Осы ХҚО-де ықтимал апат болған жағдайда қоршаған ортаның осалдығын бағалау үшін хлор контейнерінен қашықтығы 200 м болатын жер учаскесі таңдалды. ХҚО мен зерттелетін қоршаған орта объектісінің орналасуы 1-суретте көрсетілген.



Сурет 1. Зерттелетін объектілердің топографиясы

GPS деректері негізінде ХҚО-ден зерттелетін объектіге қарай жер беті көлденең екендігі анықталды. Топырақ су өткізгіш, сұзу коэффициенті тәулігіне 2,1 м құрайды. Бағаланатын учаске пайдаланылмайтын жер учаскелерінде орналасқан.

3-кестеде ХБҰ-де АХҚЗ контейнер бұзылған жағдайда жер учаскесіне (топыраққа) қоршаған ортаның осалдығын анықтайтын критерийлік параметрлердің балдық ұпайлық бағалары келтірілген.

### Кесте 3

Қоршаған ортаның осалдығын сипаттайтын көрсеткіштерді бағалау нәтижелері

Критериалды параметрдің атауы	Ұпайлар
Қарастырылып отырған жер учаскесіне (топыраққа), объектіге дейінгі қашықтық, м	3
Жер бетінің көлбеуі	1
Топырақтың су өткізгіштік дәрежесі, м / тәулік	3
Жер учаскесінің (топырақтың), объектінің мақсаты	0
<b>БАРЛЫҒЫ</b>	<b>7</b>

3-кестеде келтірілген деректерді пайдалана отырып, зерттелетін жер учаскесінің осалдық көрсеткішін (ОК) анықтаймыз [19,22]:

$$OK = 0,4 \cdot 3 + 0,25 \cdot 1 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 0 = 1,9$$

Осалдық көрсеткішінің есептелген мәні [19,22] зерттелетін жер учаскесінің химиялық қауіпті объектіден осалдығының төмен дәрежесіне сәйкес келеді.

Әрі қарай, 4-кестеге сәйкес, тәуекел деңгейін ХҚО-нің қауіптілік көрсеткіштері мен одан қоршаған ортаның осалдығы бойынша анықтаймыз [19,22].

## Кесте 4

I-ші жер учаскесі (топырақ), объект немесе су ортасы үшін химиялық қауіпті объектілердегі төтенше жағдайлар нәтижесінде экологиялық зардаптардың тәуекел деңгейін бағалау матрицасы

Қауіп көрсеткіші	Осалдық көрсеткіші				
	0	0-ден 2-ге дейін	2-ден 4-ке дейін	4-тен 6-ға дейін	6-дан астам
0	жоқ	жоқ	жоқ	жоқ	жоқ
2 дейін	жоқ	елеусіз	шағын	орташа	жоғары
2-ден 3-ке дейін	жоқ	шағын	орташа	жоғары	жоғары
3-тен 4-ке дейін	жоқ	орташа	жоғары	жоғары	сыни
4-тен 5-ке дейін	жоқ	жоғары	жоғары	сыни	сыни

4-кестеден көрініп тұрғандай, зерттелетін жер учаскесі экологиялық тәуекелдің төмен деңгейіне сәйкес келеді.

Өнеркәсіптік кәсіпорынның айналасындағы көптеген *i*-к жер учаскелері (топырақ), объектілер немесе су ортасы үшін есептеуді жүргізе отырып, химиялық қауіпті объектілердегі төтенше жағдайлар нәтижесінде экологиялық салдарлардың тәуекел деңгейінің әртүрлі мәндері бар картаны құруға мүмкіндік аламыз, ол әрі қарай аймақтың топографиялық картасымен біріктіріледі.

**Қорытынды.** Химиялық қауіпті объект – су қабылдаудағы ықтимал ТЖ нәтижесінде экологиялық зардаптардың тәуекеліне жүргізілген талдау ағын суды хлорлау үшін пайдаланылатын сұйытылған хлоры бар контейнер орналасқан жерде тікелей тәуекелдің жоғары деңгейін көрсетті. Қоршаған ортаның қалған учаскелері үшін айтарлықтай қауіп анықталған жоқ.

Хлордың қоршаған ортаға әсерін талдау айтарлықтай әсерді анықтауға мүмкіндік бермеді, өйткені қоршаған ортада ол газ күйіне ауысады және ауамен сұйылтылады. Бұл жағдайда оны сулы ортада немесе топырақта жинақтау болмайды.

Зерттелетін су қабылдаудың экологиялық тәуекел деңгейіне қосқан үлесін сипаттайтын критерийлік параметрлерді талдау көп жағдайда олардың минималды мәндерін көрсетті. Бұл технологиялық жабдықты дұрыс ұстаумен, уақтылы қызмет көрсетумен байланысты.

ХҚО-де жұмыс істейтін персонал кластерін талдау еңбек және демалыс режимін 8 немесе 12 сағаттық күнге өзгертуді ұсынуға мүмкіндік береді, бұл сенсорлық органдар мен операторлардың қабылдауына жүктемені азайтуға мүмкіндік береді.

Біз қарастырып отырған жағдайда қоршаған ортаның осалдығы хлордың физика-химиялық қасиеттері мен экотоксикологиялық қасиеттеріне және оның мөлшеріне байланысты. Ең алдымен, қарастырылып отырған ХҚО су объектісінен өте алыс қашықтықта екенін атап өткен жөн, ал оның топырақпен немесе сумен адсорбция деңгейі оған ХҚО-де жақын аумаққа және су ортасына әсер етуге мүмкіндік бермейді. Бұл ретте қоршаған ортаның жер үсті объектілері үшін елеулі қауіп анықталған жоқ.

Әдебиеттер тізімі

1. Crider Y.S., Tsuchiya M., Mukundwa et al. Adoption of point-of-use chlorination for household drinking water treatment: a systematic review // *Environmental Health Perspectives*. – 2023. – Vol. 131. – No. 1. – P. 016001.
2. Ediagbonya T.F., Tobin A.E. Toxicological assessment of chlorine concentration in atmospheric particulate matter in Benin City, Nigeria // *Air Quality, Atmosphere & Health*. – 2020. – Vol. 13. – No. 7. – P. 885-891.
3. National Research Council. Committee on Acute Exposure Guideline Levels. Acute exposure guideline levels for selected airborne chemicals. – Washington: National Academy Press, 2012. – Vol. 13. – 293 p.
4. Gritten, D. Toxic gas leak at Jordan's Aqaba port kills 13, injures hundreds. – 2022. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-61950965>. Date of access: 19.02.2025.
5. Crawley, F.A Guide to Hazard Identification Methods. – 2nd ed. – Oxford: Elsevier, 2020. – 256 p.
6. Rbeht D., El-Ali Al-Waqfi M.S., Al-Jarrah J. Qualitative risk assessment in water bottling production: a case study of Maan Nestlé Pure Life factory // *International Journal of Safety and Security Engineering*. – 2023. – Vol. 13. – No. 6. – P. 1025-1038.
7. Bas E. Application of systems theoretic process analysis and failure modes and effects analysis to process reliability and occupational safety and health in construction projects // *International Journal of Safety and Security Engineering*. – 2022. – Vol. 12. – No. 1. – P. 1-11.
8. Ruijters E., Stoelinga M. Fault tree analysis: a survey of the state-of-the-art in modeling, analysis and tools // *Computer Science Review*. – 2015. – Vol. 15-16. – P. 29-62.
9. Ashraf A.M., Imran W., Vechot L. Analysis of the impact of a pandemic on the control of the process safety risk in major hazards industries using a Fault Tree Analysis approach // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2022. – Vol. 74. – No. 1. – P. 104649.
10. Ramzali N., Lavasani M.R.M., Ghodousi J. Safety barriers analysis of offshore drilling system by employing Fuzzy Event Tree Analysis // *Safety Science*. – 2015. – Vol. 78. – P. 49-59.
11. Renjith V.R., Madhu G., Nayagam V.L.G., Bhasi A.B. Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation // *Journal of Hazardous Materials*. – 2010. – Vol. 183. – No. 1-3. – P. 103-110.
12. Kumar M., Singh K. Fuzzy fault tree analysis of chlorine gas release hazard in Chlor-Alkali industry using  $\alpha$ -cut interval-based similarity aggregation method // *Applied Soft Computing*. – 2022. – Vol. 125. – P. 109199.
13. Hakkinen J., Kiiski A., Malk V., Myyra M., Penttinen O.-P. Kemikaalikuljetusonnettomuuteen varautuminen Kymen laaksossa. Ympäristöriskien arviointi ja puhdistusmenetelmien valinta // Final report of the ChemRisk project. – [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/264382277\\_...](https://www.researchgate.net/publication/264382277_...) – Date of access: 07.06.2021.
14. Hakkinen J., Malk V., Posti A., Penttinen O.-P., Makela R., Kiiski A. Environmental risk assessment of the most commonly transported chemicals: case study of Finnish coastal areas // *WMU Journal of Maritime Affairs*. – 2013. – Vol. 12. – P. 147-160.
15. U.S. Environmental Protection Agency. Sustainable Futures. P2 Framework Manual 2012 EPA-748-B12-001. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/05.pdf>. – Date of access: 07.06.2021.
16. Andersson S. Development of an Environment-Accident Index. A planning tool to protect the environment in case of a chemical accident. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:141970/FULLTEXT01.pdf>.

17. Shao Ch., Yang J., Tian X., Ju M., Huang L. Integrated Environmental Risk Assessment and Whole-Process Management System in Chemical Industry Parks // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2013. – No. 10. – P. 1609-1630.
18. Kidam K., Hurme M., Hassim M.H. Technical analysis of accidents in chemical process industry and lessons learnt // Chemical Engineering Transactions. – 2010. – Vol. 19. – P. 451-456.
19. Yemelin P.V., Kudryavtsev S.S., Yemelina N.K. The methodological approach to environmental risk assessment from man-made emergencies at chemically hazardous sites // Environmental Engineering Research. – 2021. – Vol. 26. – No. 4. – P. 100-111.
20. Sbornik metodik po prognozirovaniyu vozmozhnykh avari, katastrof, stikhiynykh bedstviy v RSChS. Kniga 2. [Collection of Methods for Forecasting Possible Accidents, Disasters, and Natural Catastrophes in the Russian Unified Emergency Response System. Book 2.] – [Electronic resource]. – Access mode: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293767/4293767471.pdf>. Date of access: 03.03.2025. [in Russian].
21. Rassledovanie i uchet avari i neschastnykh sluchaev [Investigation and Registration of Accidents and Incidents]: Collection of Documents. Ser. 29, Issue 1. 14th ed. – Moscow: NTC PB JSC, 2010. 220 p. [in Russian].
22. Kudryavtsev S.S., Emelin P.V., Emelina N.K. Metodika otsenki riska dlya okruzhayushchey sredy ot chrezvychaynykh situatsiy na khimicheski opasnykh ob'ektakh [Methodology for assessing environmental risk from emergencies at chemically hazardous facilities] // Occupational Safety in Industry. – 2022. – No. 5. – P. 81-89.

*Материал редакцияга 18.04.25 түсті, 27.09.25 қабылданды.*

**А.А. Рахимберлина<sup>1</sup>, С.С. Кудрявцев<sup>1</sup>, П.В. Емелин<sup>2</sup>, М.Т. Курбанов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Қарағандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова,  
г. Караганда, Казахстан*

<sup>2</sup>*ТОО «НАКС ГАЦ», г. Караганда, Казахстан*

<sup>3</sup>*Бухарский инженерно-технологический институт,  
г. Бухара, Республика Узбекистан*

#### **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА НА ХИМИЧЕСКИ ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕМ ОЧИСТКУ ВОДЫ**

**Аннотация.** Технологический процесс водоподготовки связан с использованием хлора, являющимся сильным отравляющим веществом и экотоксикантом, что определяет статус производственных объектов, осуществляющих хлорирование воды, как химически опасных. Целью исследования является апробация оригинальной методики оценки экологического риска, связанного с техногенной чрезвычайной ситуацией на химически опасном объекте, производящем хлорирование воды. В исследовании использована методика оценки экологического риска, основанная на методе экспертных оценок. Уровень экологического риска оценивался по соотношению показателей экологической опасности химически опасного объекта и уязвимости окружающей среды. Применение данной методики позволяет научно обоснованно зонировать территорию вблизи химически опасных объектов по уровню экологического риска. Для наземного объекта окружающей среды, находящегося в 200 м от ёмкости с хлором, уровень риска был оценён как малый, что, в первую очередь, связано с

эффективной работой системы управления охраной труда на исследуемом объекте и низким уровнем уязвимости окружающей среды.

**Ключевые слова:** химически опасный объект, аварийно химически опасное вещество, экологическая безопасность, хлор, экологический риск, оценка риска, метод экспертных оценок.

**A.A. Rakhimberlina<sup>1</sup>, S.S. Kudryavtsev<sup>1</sup>, P.V. Yemelin<sup>2</sup>, M.T. Kurbanov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*“NAKS GAC” LLP, Karaganda, Kazakhstan*

<sup>3</sup>*Bukhara Engineering-Technological Institute, Bukhara, Republic of Uzbekistan*

#### **ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT AT A CHEMICALLY HAZARDOUS SITE INVOLVED IN WATER TREATMENT**

**Abstract.** The water treatment process involves the use of chlorine, a potent toxic substance and ecotoxicant, which classifies industrial sites that perform water chlorination as chemically hazardous sites. The aim of this study is to test an original methodology for assessing the environmental risk associated with a man-made emergency at a chemically hazardous site engaged in water chlorination. The study employed an environmental risk assessment methodology based on expert evaluation. The environmental risk level was determined by comparing the environmental hazard indices of the chemically hazardous site with its environmental vulnerability. The application of this methodology enables the scientifically grounded zoning of areas surrounding chemically hazardous sites according to environmental risk levels. For the environmental object located 200 meters from the chlorine tank, the risk level was assessed as low. This assessment is mainly attributed to the effective operation of the occupational safety management system at the studied industrial site and the low level of environmental vulnerability.

**Keywords:** chemically hazardous site, hazardous chemical, chlorine, environmental safety, environmental risk, risk assessment, expert evaluation method.